النبات العام

تأليف

دكتور أحمد محمد مجاهد
دكتور مصطفى عبد العزيز
دكتور أحمد الكازوني
دكتور عبد الرحمن الحسيني

مكتبة الأنجلو المصرية


منتدى سور الأزبكية



النَبَاتُ العَامّ



تأليف

دكتور أحمد محمد مجاهد

أستاذ متفرغ - كلية العلوم

جامعة القاهرة

دكتور مصطفى عبد العزيز

أستاذ ميكروبيولوجيا - كلية العلوم

جامعة القاهرة

دكتور أحمد الباز يونس

أستاذ فسيولوجيا النبات

وعميد كلية العلوم

جامعة المنصورة (سابقا)

دكتور عبد الرحمن أمين

أستاذ بيئة نبات

كلية العلوم - جامعة القاهرة

الناشر

مكتبة الأنجلو المصرية

١٦٥ شارع محمد فريد - القاهرة

رقم الإيداع: ٢٠٠٤/٩٦

دولــى I.S.B.N. 977-05-1442-x

المحتـــويات

صفحة

القسم الأول : علم الشـــكل الظـــاهرى

القسم الثانى : التركيب الداخلى للنبات

القسم الثالث : النبـات التقسيمى

القسم الرابع

وظائف الأعضاء

القسم الخـامس

الوراثة وعلم الخليـة

مقدمة الطبعة السادسة

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله ، والصلاة والسلام على رسول الله ، وبعـــد .

ففى هذه الطبعة الجديدة نتابع محاولاتنا لتطوير الكتاب وتحديثه ورفع مستواه ليكون على الدوام مسايرا للتطور العلمى الذى لايتوقف .

وفى سبيل ذلك تم التوسع فى بعض أبواب الكتاب وعلى الأخص تلك الأبواب التى تناولت الكائنات الدقيقة . نظراً لمـــا أتاحه استخدام المجهر الإلكترونى من الكشف عن أعداد لاحصر لها من تلك الكائنات ، والتغلغل إلى أدق تفاصيلها التركيبية والتصنيفية والفسيولوجية ، كما أعيدت كتابة بعض الأجزاء ، وصنفت النباتات غير الزهرية على أسس تصنيفية حديثة ، ووجهت عناية خاصة لرفع مستوى الطباعة والصور والرسوم .

ويعز على فريق المؤلفين أن ينعى إلى قراء « النبات العام » زميلا كريما من زملائهم هو الأستاذ الدكتور مصطفى عبد العزيز أستاذ علم الميكروبيولوجيا بجامعة القاهرة ، وأحد رواد هذا العلم وعميد معلميه فى العالم العربى ، كان رحمه الله مثالا يحتذى فى النشاط والدقة والأمانة العلمية والإخلاص فى العمل عوضنا الله فى فقده خيرا ، ووفقنا إلى ترسم خطاه والنسج على منواله وأسكنه فسيح جناته .

المؤلفون

القاهرة فى يناير سنة ١٩٨٦

مقدمة الطبعة الأولى

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على سيد المرسلين ، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين ، أما بعد ، فقد قام مؤلفو هذا الكتاب منذ سنوات بوضع مؤلفهم « علم النبات العام » ليكون مرجعا وافيا باللغة العربية لطلاب هذا العلم فى مختلف الكليات الجامعية ، وجاء التطوير الجديد للجامعات فنص على التعجيل باستعمال اللغة العربية كلغة تدريس بالكليات العملية التى ما زالت تستعمل اللغة الأنجليزية ، وتبين للمؤلفين أن المادة العلمية التى يتضمنها كتاب « علم النبات العام » أكثر تفصيلا وأغزر منهاجا مما يحتاج إليه طلاب الفرق الاعدادية لكليات الطب البشرى وطب الأسنان والطب البيطرى ، الأمر الذى يجعل استخلاصهم لما يحتاجون إليه غير يسير . وبدا جليا أن منفعة هؤلاء الطلاب تقتضى إعداد طبعة خاصة مختصرة لكتاب « علم النبات العام » تتضمن أساسيات هذا العلم بالقدر الذى يغطى مناهج الدراسة فى هذه الاعداديات ، كما يفى فى الوقت ذاته باحتياجات المعاهد العليا التى تعنيها دراسة علم النبات ، وذلك دون استفاضة لاتدعو إليها الحاجة ، أو اقتضاب قد يخل بمقتضيات الشرح والتوضيح .

وها نحن نقدم للطلاب مؤلفنا الموجز الجديد ، الذى أسميناه « مقدمة النبات العام » ، راجين أن يجدوا فيه ما يروى غلتهم من هذا العلم ، أما من شاء منهم الاستزادة فعليه أن يرجع إلى كتاب « علم النبات العام » ذاته .

والله نسأل أن يسدد خطانا ويجعل التوفيق حليفنا فيما نهدف إليه من خدمة العلم وطلابه من أبناء الأمة العربية الكريمة .

المؤلفون

القاهرة فى رجب سنة ١٣٧٩

الموافق يناير سنة ١٩٦٠

الباب الأول

الكائن الحي

تنقسم الموجودات التي يحتويها هذا الكون إلى قسمين :

الأول – كائنات حية : هي مختلف أنواع النبات والحيوان .

الثاني – مواد غير حية : هي الماء والهواء والأرض والمعادن وما إليها .

والحياة أهم صفات الكائن الحي ، وقد يكون من الصعب تعريف « الحياة » تعريفاً دقيقاً ، ولكن من المؤكد أن سرها يكمن فى تلك المادة التى يبنى منها جسم الكائن الحي ، وهى مادة البروتوبلازم (Protoplasm) .

والبروتوبلازم مادة معقدة التركيب ، لم يتوصل العلم بعد إلى كشف جميع أسرارها ، وإن كان قد كشف الكثير من صفاتها وخصائصها . تحدث بها جميع التغيرات الفيزيائية والكيميائية التى تنطوى عليها وظائف الحياة : كالحركة والنمو والتغذية والتنفس والتمثيل والتكاثر .

مميزات الكائن الحي

تتميز الكائنات الحية عامة ، سواء منها الكائنات النباتية والحيوانية ، بقدرتها على تأدية الوظائف الآتية :

التغذية : وهى تناول مواد الغذاء بإدخالها من خارج الجسم إلى داخله .

التمثيل : وهو تحويل مواد الغذاء بعد تناوله إلى صورة مماثلة لمادة الجسم الحي ، وذلك بوساطة سلسلة من التغييرات الكيميائية المعقدة .

النمو : وهو ازدياد حجم الجسم ووزنه وأبعاده المختلفة ، نتيجة لتكون مادة حية جديدة فى عمليتى التغذية والتمثيل ، وإضافتها إلى مادة الجسم وإدخالها فى بنائه .

الإحساس : وهو أن يشعر الكائن الحى بالحوافز والمؤثرات الخارجية . فيستجيب لها أو يرد عليها ، والإحساس صفة اختصت بها الكائنات الحية دون سواها . والحيوان أكثر إحساساً من النبات بفضل جهازيه العصبى والعضلى ، إذ ينقل الجهاز العصبى الإحساس بالمؤثرات ، فيستجيب الجهاز العضلى لها أو يرد عليها بالحركة . ومن مظاهر الإحساس عند النبات أن بعض الطحالب الخضر الهدبية وحيدة الخلية ، إذا وضعت فى إناء زجاجى به ماء ، ووضع الإناء فى مكان مظلم ينفذ إليه الضوء من ثقب محدد فى ناحية واحدة ، فإن الطحالب تستجيب لحافز الضوء ، فتسبح بأهدابها تجاهه ، وتتجمع فى ذلك الجانب من الإناء المواجه لمصدره ، وفى بعض النباتات الراقية – كنبات عباد الشمس مثلا – تدور النورة مع الشمس أثناء النهار ، فتواجه المشرق فى الصباح ، ثم تتحول تدريجياً لتواجه الشمس الغاربة آخر النهار .

الحركة : وهى أن يغير الكائن الحى موضع جسمه أو بعض أجزائه ، فالحيوان مثلا يستطيع الانتقال بكايته من مكان إلى آخر ، وكذلك تفعل النباتات البدائية التى تسبح فى الماء بأهدابها . أما النباتات الراقية فتنشب جذورها فى الأرض وتثبت اتصالها بها ، وبذلك لاتستطيع الانتقال بكل جسمها ، بل تقتصر حركتها على بعض أجزائها ، كانفراج الثغور وانغلاقها، وتفتح البراعم والأزهار ، وانقباض الأوراق وانبساطها ، وانسياب المادة الحية داخل الخلايا .

التنفس : وهو وظيفة حيوية هامة ، اختصت بها الأحياء دون الجماد ، فيها يستخلص الأكسيجين من الهواء الجوى الذى يدخل الجسم ، ويطرد غاز ثانى أكسيد الكربون الناتج من تأكسد المواد الغذائية . وتتلخص فائدة التنفس فى توليد طاقة يعتمد عليها الكائن الحى فى تأدية وظائفه الحيوية الأخرى كالتمثيل والحركة والنمو .

التكاثر : تستطيع الكائنات الحية عندما تبلغ سناً معينة ، تختلف باختلاف الأنواع ، أن تنتج أفراداً مماثلة لها فى النوع . وبذلك تتكاثر ، والتكاثر من خصائص الأحياء ، ولا وجود له فى المواد غير الحية .

تقسيم الكائنات الحية

تنقسم الكائنات الحية إلى نبات وحيوان . أما النبات فقد اختص بدراسته علم يعرف « بعلم النبات » (Botany) ، بينما اختص « علم الحيوان » (Zoology) بالدراسات الحيوانية . أما دراسة الكائنات الحية من حيث هي أحياء فحسب ، لها خصائص الحياة وصفاتها ، فتدخل فى نطاق علم الحياة (Biology) ، وأهم الفروق بين النبات والحيوان هي :

١ – طريقة التغذية والتمثيل :

يتألف غذاء الحيوان عادة من مواد عضوية معقدة التركيب ، بعضها صلب وبعضها سائل ، أما غذاء النبات فيتألف من مواد بسيطة التركيب ، تنحصر فى الماء والأملاح الذائبة التى يمتصها من محلول التربة عن طريق الجذور ، وفى غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يمتصه من الهواء الجوى المحيط به .

ويستطيع النبات أن يبنى مواد عضوية معقدة التركيب من غذائه البسيط غير العضوى . وأهم عمليات البناء هى التى يستمد فيها الطاقة من ضوء الشمس ، وتعرف بالبناء الضوئى (Photosynthesis) . ويشترط لحدوثها وجود مادة اليخضور – أى الكلوروفيل (Chlorophyll) – وهى ذلك الصبغ الأخضر الذى تتلون به الأوراق النباتية الخضر .

٢ – اليخضور (الكلوروفيل) :

تتميز معظم النباتات باللون الأخضر ، وهو يعزى – كما قدمنا – إلى وجود مادة اليخضور فى أوراقها ومعظم أجزائها الهوائية . أما أنواع الحيوان فليس بها يخضور ، ولونها فى الغالب غير أخضر ، وفى الحالات النادرة التى تتلون فيها بالخضرة يكون اللون مسبباً عن صبغ آخر غير اليخضور .

٣ ـ الحركة :

إذا استثنينا الحركات الهدبية التى تقوم بها بعض النباتات البدائية ، والحركات الإحساسية البسيطة التى تستجيب بها بعض النباتات الراقية والأولية لمؤثرات الضوء واللمس وغيرهما ، فإن الحركة الواضحة الملموسة تعتبر من أهم الصفات التى اختص بها الحيوان دون النبات ، وتعزى قدرة الحيوان على الحركة إلى وجود جهازه العضلى .

٤ ـ التفرع :

تتجمع أعضاء الحيوان وتتركز حول جهازه الهضمى الذى يمدها بالغذاء ، ولذلك فجسمه محدود غير متفرع . أما النبات فيتفرع مجموعه الخضرى فى الهواء تفرعات متكررة ، ليعرض أوراقه للضوء وأزهاره وثماره لعوامل التلقيح والانتثار ، كما تتفرع جذوره فى التربة ، وتمتد بعيداً لتشغل أكبر حيز ممكن من الأرض ، فيساعدها ذلك على وفرة امتصاص الماء والأملاح .

٥ ـ النمو :

النمو مستمر فى النبات ومحدود فى الحيوان ، وذلك لأن هناك قمما نامية فى النباتات مستمرة النشاط طول حياتها ، وتوجد تلك القمم عادة فى أطراف الجذور والسيقان ، أما الحيوان فيستمر نموه حتى البلوغ ، ثم يتوقف بعد ذلك .

نبذة عن تاريخ علم النبات

كان الأقدمون فى الأزمنة الغابرة يجمعون النباتات البرية ، ويصنفونها ، ويدرسون خصائصها لغرض المنفعة فحسب ، أما الدراسة العلمية البحتة فلم تكن تخطر لهم ببال ، وكانت المنفعة الطبية أهم الأغراض التى يستعملون فيها النباتات .

وفى بلاد الإغريق القديمة تألفت جماعة يقال لها « الريزوتوموا » (Rhizotomoi) ، تضم أطباء وزراعيين ، غرضها جمع الأجزاء النباتية المختلفة ، من أوراق وجذور وغيرها ، بقصد استعمالها فى علاج بعض الأمراض .

ولم يبدأ الاهتمام بدراسة النبات كعلم إلا فى عهد أرسطو (Aristotle) حوالى سنة ٣٨٠ ق.م ، فهو لذلك يعتبر بحق « أبا التاريخ الطبيعى » ثم جاء الإسكندر الأكبر عام ٣٥٦ ق.م . فشجع الدراسات النباتية ، وخاصة ما اتصل منها بالنباتات الطبية ، وبذل لها كل ما استطاع من عون ومال .

أما أول سجل مدون معروف فى دراسة النباتات وتقسيمها فهو ذلك الذى وضعه ثيوفراستوس (Theophrastus) : ذلك العالم الإغريقى الذى عاش فى الفترة من سنة ٣٧٠ — سنة ٢٨٥ ق.م. وثيوفراستوس هو تلميذ أرسطو ، وقد عرف مؤلفه باسم « التاريخ الطبيعى للنباتات » ، أما المعلومات التى وردت فى ذلك المؤلف ، وإن اعتبرت أولية بالنسبة لمـا وصل إليه علم النبات من تقدم فى عصرنا الحاضر ، فهى جديرة بالإعجاب والتقدير ، نظراً لأصالتها ودقتها .

ولم يحدث بعد عهد ثيوفراستوس أى تقدم فى دراسة النبات إلى أن جاء « ديوسكوريدس » الإنجليزى سنة ٣٧ ميلادية فألف موسوعته المعروفة فى « المادة الطبية » (Materia Medica) ، وضمنها وصفاً دقيقاً لبضع مئات من النباتات الطبية ، وقد ظل هـذا المؤلف متداولا حتى القرن السابع عشر .

وفى القرن السادس عشر دب النشاط فى دراسة علم النبات من جديد ، وإضطرد ذلك واستمر حتى وقتنا الحاضر . ويعتبر المؤلف الذى وضعه العالم . الايطالى « سيزالبينو » (Caesalpino) فى علم النبات فى منتصف القرن السادس عشر باكورة إنتاج تلك الفترة المشرقة .

وفى مستهل القرن الثامن عشر ظهر العالم السويدى «لينيس» (Linnaeus) الذى عاش بين سنتى ١٧٠٧ و ١٧٧٨ ميلادية ؛ والذى يعتبر من أبرز علماء العصر الحديث . وقد عنى لينيس أكثر شيء بوصف أجزاء النبات : ساقه وجذره وأوراقه وأزهاره وثماره وبذوره ، وميز الاختلافات العديدة فى شكل هذه الأعضاء فى النباتات المختلفة ، ثم قسم النباتات ورتبها على هذا الأساس ، وأعطى كل نبات اسما مختصرا بسيطا .

ولا يفوتنا أن ننوه فى هذا المقام بالإضافات القيمة التى أضافها العلماء العرب القدامى إلى الدراسات النباتية . ومن ألمع نجوم العرب جابر بن حيان (٧٠٠ - ٧٦٥ م) . وقد كان اهتمامه بالتركيب الكيميائى للنباتات أكثر منه بالدراسات النباتية البحتة ، ثم أبو بكر الرازى (٨٦٥ - ٩٢٥م) ، ثم ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧م) ، وقد قصر اهتمامه على النباتات الطبية ومنافعها. ومن مشاهير علماء العرب أيضاً عبد اللطيف البغدادى وابن البيطار (١١٩٧ - ١٢٤٨) ، ثم الرحالة العالمى ابن بطوطة (١٣٠٤ - ١٣٦٩) . وداود الأنطاكى صاحب التذكرة المشهورة .

على أن هؤلاء العلماء الأعلام قد عنوا بالناحية الطبية والاستغلالية أكثر من عنايتهم بالناحية العلمية البحتة .

فروع علم النبات :

تشعبت الدراسات النباتية فى العصر الحديث ، واتسعت آفاقها اتساعاً كبيراً حتى صار من المتعذر أن يلم عالم واحد بجميع شعبها ، ومن هنا بدأ التخصص . فقسم علم النبات إلى عدد من الفروع الرئيسية ، شأنه فى ذلك شأن بقية العلوم ، وركز كل متخصص إهتمامه على فرع من هذه الفروع ، مع الإحاطة العامة ببقية الفروع .

وأهم فروع علم النبات المعروفة فى الوقت الحاضر هى الفروع الآتية :

١ - الشكل الظاهرى (Morphology)

٢ - التشريح أو التركيب الداخلى (Anatomy)

٣ - البيئة النباتية (Plant Ecology)

٤ - النبات التقسيمى (Systematic Botany)

٥ - علم الفطريات (Mycology)

٦ - علم أمراض النبات (Plant Pathology)

٧ - علم وظائف الأعضاء (Physiology)

٨ - علم الوراثة (Genetics)

٩ - علم الخلية (Cytology)

١٠ - علم البكتيريا (Bacteriology)

١١ - علم الفيروسات (Virology)

ويزداد عدد هذه الفروع باستمرار ، إذ كلما اتسع نطاق العلم فى ناحية استحدث فرع جديد لرعاية هذه الناحية وتعهدها وتنميتها .

ومن بين الفروع التى أدخلت حديثا « علم النبات الاقتصادى أو التطبيقى» (Economic or Applied Botany) ، الذى يهدف نحو دراسة النباتات ذات القيمة الاقتصادية والاستغلال الصناعى أو الطبى لما تعطيه من منتجات.

طريقة تسمية النباتات :

يحمل كل نبات اسماً مزدوجاً - أى مكوناً من كلمتين - تدل الأولى على اسم الجنس (Genus) ، وتبدأ بحرف كبير فى اللغة اللاتينية (وهى غالبا المستعملة فى التسمية العلمية) وتدل الثانية على اسم النوع (Species) ، وتبدأ بحرف صغير . فالاسم العلمى لنبات القمح الهندى مثلا هو (**Triticu vulgare**)،

وإذا كان النبات المراد تسميته ينتمى إلى صنف (variety) بعينه من أصناف نوعه ، ذكر اسم الصنف بعد اسم النوع ، فيقال لنبات القطن من صنف الكرنك مثلا : (Gossypium barbadense v. Karnak) .

وإذا أريدت زيادة الدقة فى التسمية ذيل اسم النبات بذكر الحرف الأول (أو الحروف الأولى) من اسم العالم الذى سماه . فيقال لنبات البصل مثلا (Allium cepa L.) ، حيث يرمز حرف (L) إلى العلامة (Linnaeus) الذى وضع الاسم .

* * *

القسم الأول

علم الشكل الظاهرى

(MORPHOLOGY)

الباب الثانى

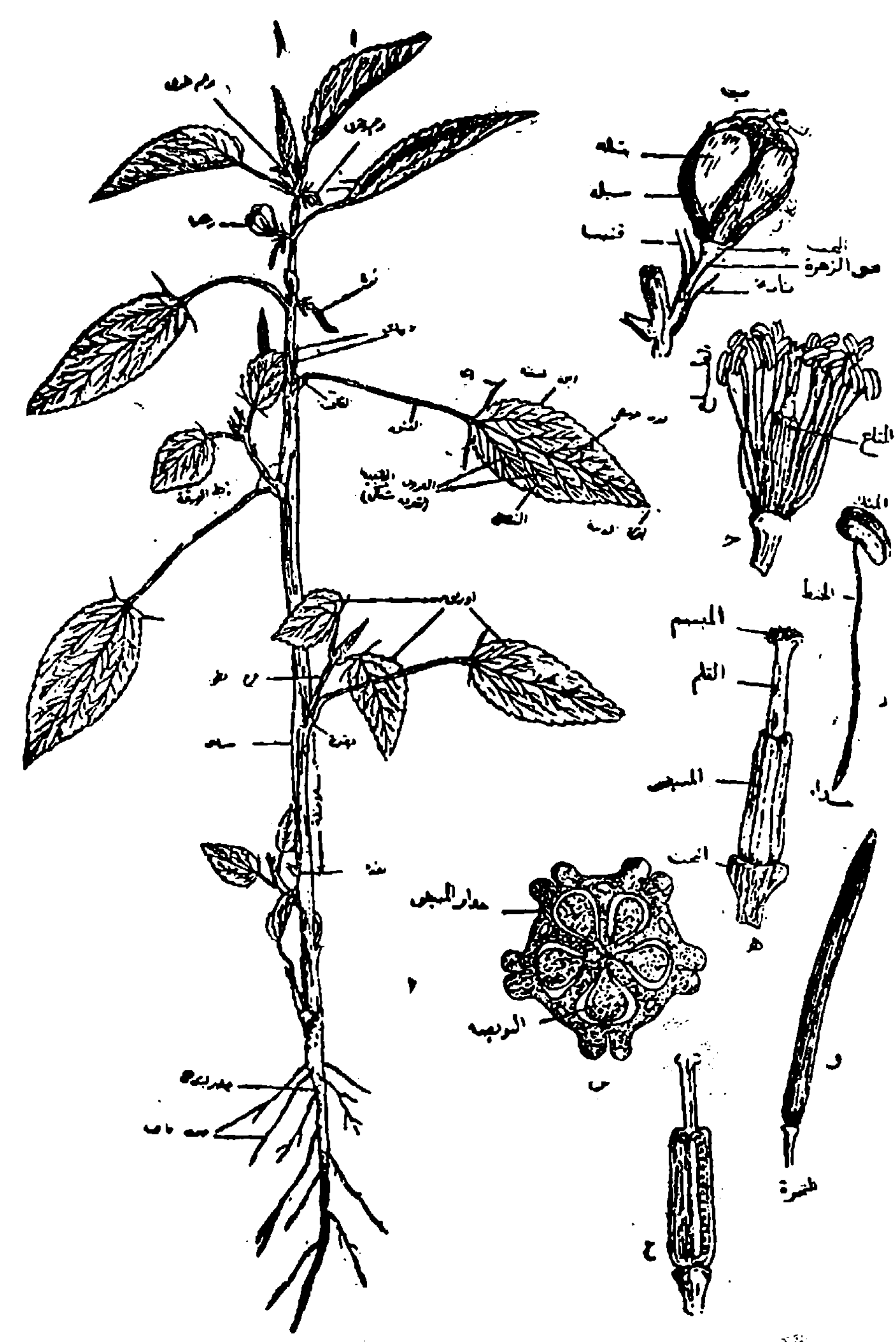
وصف الشكل الظاهرى لنبات زهرى

نبات الملوخية

يعتبر نبات الملوخية نموذجا ملائما لدراسة الشكل الظاهرى العام للنباتات الزهرية ، تسهل على الطالب المبتدىء دراسته لوفرته ، ووضوح أجزائه مع صغر حجمه ، وهو كثير الانتشار فى الأراضى المنزرعة ويختلط بنباتات المحاصيل كعشب برى ، ويستعمل فى مصر غذاء للإنسان ، وهو أحد أفراد الفصيلة الزيزفونية (Tiliaceae) ، واسمه العلمى (Corchorus olitorius) ويتركب أساساً من مجموعتين من الأعضاء ، شأنه فى ذلك شأن سائر النباتات الزهرية ، وتوجد إحدى هاتين المجموعتين تحت الأرض وتعرف بالمجموع الجذرى ، والأخرى فى الهواء وتعرف بالمجموع الخضرى (شكل ١ : ١) .

ويتكون المجموع الجذرى (Root system) من محور رئيسى يمتد إلى أسفل على إستقامة الساق–يعرف بالجذر الابتدائى (Primary root) – وهو يتغلغل عموديا فى التربة فى اتجاه الجاذبية الأرضية ، وتخرج منه فروع جانبية تعرف بالجذور الثانوية أو الجانبية (Secondary or lateral roots) ، تمتد مائلة إلى أسفل ، وهى أصغر حجما وأقل شأنا من الجذر الابتدائى ، ثم تتفرع الجذور الجانبية بدورها إلى فروع أصغر منها ، تمتد فى كل إتجاه ، وتعرف بالجذيرات (Rootlets) ، وقد تتفرع الجذيرات أحيانا إلى فروع جذرية من الدرجة الثالثة أو ما دونها ، ويمتد هذا المجموع الجذرى ويتشعب فى أرجاء التربة ، وينتشر فى حيز كبير منها ، حيث تلتصق شعيراته المجهرية الدقيقة بحبيبات التربة لتمتص منها الماء والأملاح .

(شكل ١)



الشكل الظاهرى لنبات الملوخية : (ا) نبات الملوخية كاملا. (ب) الزهرة كاملة ، (جـ) الزهرة بعد نزع الكأس والتويج . (د) السداة ، (ه) المتاع ، (و) الثمرة ، (س) قطاع مستعرض فى المبيض ، (ح) قطع طولى فى المبيض

أما المجموع الخضرى (Shoot system) فيتكون هو الآخر من محور رئيسى يمتد إلى أعلى على استقامة الجذر الابتدائى ، ويعرف بالساق ، وهو ينمو رأسيا فى اتجاه الضوء ، وفى عكس اتجاه الجاذبية الأرضية ، وساق الملوخية خضراء عشبية ، قليلة الاحتمال لقلة ما بها من عناصر الخشب . وتتضخم الساق فى مواضع قليلة متعاقبة تعرف بالعقد (Nodes) ، تخرج عندها الأوراق ، فتخرج ورقة أو أكثر عند كل عقدة حسب نوع النبات . وفى نبات الملوخية بالذات ، تخرج ورقة واحدة عند كل عقدة . ويعرف الجزء من الساق الواقع بين عقدتين متتاليتين بالسلامى (Internode) ، ويلاحظ أن السلاميات المتعاقبة غير متساوية الطول إذ يقل طولها بالتدريج كلما قاربت القمة ، ويعزى ذلك إلى حداثة سن الأجزاء الطرفية ، وعدم اكتمال نموها .

وأوراق الملوخية خضراء منبسطة ، متبادلة الترتيب على الساق . ويوجد فى الزاوية الحادة المحصورة بين الساق والسطح العلوى لقاعدة الورقة — أى فى إبط الورقة — جسم صغير يعرف بالبرعم الإبطى (Axillary bud) . وهناك برعم واحد لكل ورقة فى معظم النباتات ، وأكثر من ذلك فى بعضها ، وتنبت البراعم الإبطية ، إذا توفرت لها الظروف الملائمة ، لتعطى فروعا جانبية أو إبطية (Lateral or axillary branches) :

وتتكون ورقة الملوخية من ثلاثة أجزاء متميزة هى : القاعدة (Base) والعنق (Petiole or stalk) والنصل (Blade or lamina) . أمـــا القاعدة فهى الجزء الأسفل المتصل بالساق ، وهى عريضة ومنتفخة قليلا فى معظم النباتات ، ووظيفتها تغطية البرعم وحمايته من المؤثرات الخارجية . وفى أوراق الملوخية توجد زائدتان رفيعتان على جانبى القاعدة ، تعرفان بالأذينتين (Stipules) تزيدان فى تغطية البراعم ووقايتها ، وعددهما اثنتان دائماً ، وتوصف الأوراق ذات الأذينات بالمؤذنة (Stipulate) . والعنق طويل ورفيع فى أوراق الملوخية ، مستدير تقريباً فى القطاع المستعرض ، مع تقعر قليل بالسطح العلوى . وهو يصل ما بين الساق والنصل ، وتمر بداخله

العصارة المجهزة بالورقة والهابطة إلى الساق ثم الجذر ، والعصارة النيئة الصاعدة فى الجذر إلى الساق ثم الورقة . ومن وظائفه أيضاً أنه يحمل النصل بعيداً عن الساق إلى موضع يصيب فيه حظاً أوفر من الضوء والهواء ، يجعله أقدر على تأدية وظائف التنفس والنتح والتمثيل .

والنصل هو الجزء الطرفى العريض المنبسط . وهو أكبر أجزاء الورقة وأهمها ، لأنه مختص بوظيفة البناء الضوئى التى يعتمد عليها النبات الأخضر فى صنع غذائه العضوى ، كما يعتمد عليها الإنسان والحيوان بطريق غير مباشر . والنصل فى أوراق الملوخية أخضر مدبب القمة ، منشارى الحافة ، إذ أن بحافته نتوءات صغيرة منتظمة كأسنان المنشار ، تتجه أطرافها المدببة نحو القمة . ويستطيل النتوءان السفليان ويمتدان كشعرتين على جانبى قاعدة النصل؛ وتنتشر فى أرجاء النصل شبكة متصلة من العروق ، تتكون من عرق ظاهر فى الوسط — يعرف بالعرق الوسطى أو العير (Midrib) — يمتد بطول النصل على استقامة العنق ، ويبرز قليلا على السطح السفلى مع تقعر قليل على السطح العلوى . وتخرج من هذا العير عروق جانبية (Lateral veins) أدق منه وأقل وضوحا ، تتجه نحو حافة الورقة بميل قليل إلى أعلى . وتتفرع العروق بدورها إلى عريقات (veinules) تتجه وجهات مختلفة . وقد تتفرع العريقات مرة أو أكثر ، ثم تلتقى فى النهاية وتتشابك مكونة جهازا توصيليا ، وظيفته نقل العصارة من مختلف أجزاء الورقة وإليها . ويعرف نظام التعرق فى أوراق الملوخية بالتعرق الشبكى (Reticulate venation) وهو النظام الشائع فى ذوات الفلقتين .

وتحمل الساق أيضاً أزهارا صغيرة صفراء (شكل ١ : ب) ، تتكون كل واحدة منها من أربعة أنواع من الأعضاء المتحورة هى : السبلات والبتلات والأسدية (شكل ١ : ب ، ج ، د) والكرابل (شكل ١ : ه ، س ، ح) . وتتكون الثمار (شكل ١ : و) من الأزهار بعد إخصابها ، وهى هنا مستطيلة ، تبلغ حجما كبيراً عند تمام نضجها ، حيث تجف وتتفتح لتخرج منها البذور .

الباب الثالث

البذور والانبات

تتكاثر النباتات الراقية أساساً بالبذور . والبذرة نبات جنيني صغير في حالة سكون ، لديه ما يحتاج إليه أثناء الإنبات من غذاء مدخر ، وتغلفه أغلفة تحميه من المؤثرات الخارجية . وتنتج البذرة من نبات بالغ سابق . وتبدأ منها حياة جيل جديد وتتكون البذرة من الجنين (Embryo) ، يحيط به غلاف يسمى القصرة (Testa) ، ومن قدر من الغذاء المدخر ، إما مختزناً في بعض أجزاء الجنين ، أو منفصلا عنه في نسيج خاص يغلفه ، ويعرف بالإندوسبرم (Endosperm) ، وتوصف البذرة في الحالة الأولى بأنها « لا إندوسبرمية » (Exendospermic) وفي الثانية بأنها « إندوسبرمية » (Endospermic) ، وفي البذرة اللاإندوسبرمية يحدث الاختزان غالباً داخل أنسجة الفلقات . ولذلك تبدو هذه ضخمة متشحمة .

ويتكون الجنين من نفس الأعضاء الأساسية التي يتكون منها النبات البالغ ، وهي الجذر والساق والأوراق ، ولكن في صورة مصغرة غاية التصغير . ويسمى الجذر الجنيني جذيراً (Radicle) والساق الجنينية ريشة (Plumule) والأوراق الجنينية فلقات (Cotyledons) ، ويختلف عدد الفلقات في النباتات مغطاة البذور ، فهي واحدة في ذوات الفلقة الواحدة (Monocotyledons) وإثنتان في ذوات الفلقتين (Dicotyledons) أما في النباتات عاريات البذور فالعدد غير محدود ، إذ تحتوى بذور الصنوبر مثلا على (٣ — ١٧) فلقة حسب الأنواع .

ويختلف حجم الجنين ودرجة وضوح أجزائه في بذور النباتات المختلفة ، فهو صغير جدا في بذرة البلح رغم كبر البذرة ، ولا يمكن تمييز أجزائه بالعين

المجردة . وفى بذرة الخروع الجافة يتعذر تبين الريشة من الجذير . وعلى النقيض من ذلك يلاحظ أن جنين الفول والفاصوليا كبير واضح ، متميز الأجزاء .

الشروط اللازمة للإنبات

لاتستطيع البذور الإنبات إلا إذا توفرت لها شروط معينة ، أهمها مايأتى :

١ — **تمضية فترة سكون :** أو سبات بعد نضج الثمرة ، تختلف طولا وقصرا باختلاف النباتات ، ولا توجد سوى قلة من النباتات — كالصفصاف — هى التى لاتكاد تحتاج إلى فترة سكون على الإطلاق . على أن البذور إذا تركت دون استنبات أمدا طويلا فقد تفقد الأجنة حيويتها ، وبالتالى قدرتها على النمو والإنبات . وتختلف بذور النباتات المختلفة من حيث المدة التى تستطيع أن تحتفظ فيها بحيويتها ، فبعض البذور تبقى كامنة فصلا أو بضعة فصول ، وبعضها تبقى سنة أو عدة سنين ، ثم تنبت بعد ذلك إذا توفرت لها شروط الإنبات الأخرى .

٢ — **حيوية الجنين :** يجب أن يكون الجنين حيا لكى تنبت البذرة . فالبذور المتعفنة ، أو التى ثقبتها الحشرات وأكلت أجنتها أو أتلفتها ، لاتستطيع الإنبات ، وكذلك البذور التى احترقت أجنتها بالتأكسد البطىء لطول اختزانها ، ومن أمثلتها البذور التى وجدت فى قبور الفراعنة ، إذا اخذت أمثال هذه البذور ذوات الأجنة الميتة ، ووفرت لها جميع شروط الإنبات الأخرى ، فإنها لاتنبت .

٣ — **وفرة الماء :** الماء ضرورى للإنبات لأن التغيرات المختلفة التى تنطوى عليها هذه العملية لاتحدث إلا فى وجود الماء ، والدليل على ذلك أن البذرة إذا تركت فى تربة جافة فإنها لاتنبت ، أما إذا بللت التربة بالماء فإن الإنبات يحدث سريعاً إذا توفرت بقية الشروط .

٤ — **درجة حرارة ملائمة :** لكل نوع من أنواع النبات درجة حرارة تلائم إنبات بذوره . فنباتات المناطق الباردة مثلا تنبت فى درجات حرارة منخفضة ، أما نباتات المناطق الحارة فتنبت فى درجات عالية ، ولكل نبات حدان من درجات الحرارة لاتستطيع بذوره الإنبات إلا بينهما . ويختلف

هذان الحدان والبعد بينهما باختلاف الأنواع . وتخضع سرعة الإنبات — فى حدود معينة — لقانون « فانت هوف » (١) مثلها فى ذلك كمثل التغيرات الفيزيائية والكيميائية ، فتزداد بارتفاع درجة الحرارة ، حتى إذا بلغ الارتفاع حداً معيناً (حوالى درجة ٤٠ ْ مئوية) بدأ البروتوبلازم يضار بالحرارة ، فيقل نشاطه ، وبذلك تهبط سرعة الإنبات ، وإذا استمر ارتفاع درجة الحرارة أكثر من ذلك فإن البروتوبلازم يتجمد ، فتموت البذور ويتوقف الإنبات .

٥ — **وفرة الأكسجين :** الأكسجين لازم لتنفس البذور أثناء الإنبات ، إذ أن الجنين كائن حى يتنفس كما تتنفس الأحياء . فإذا وضعت البذور فى ماء سبق غليه لطرد ما به من أكسجين ذائب ، ثم برد لدرجة الحرارة العادية ، فإنها لاتنبت ، وإذا شبعت التربة أو غمرت بالماء لدرجة امتلاء فراغاتها به امتلاء تاما — وحلوله فيها محل الهواء — كان ذلك عائقا لإنبات البذور ، لأن الأجنة فى تلك الحالة لاتجد الأكسجين اللازم لتنفسها .

وهناك عدا الشروط العامة سالفة الذكر شروط خاصة ، تقتصر على بعض النباتات دون البعض الآخر ، ومن أمثلتها أن بعض النباتات لاتستطيع الإنبات فى الماء الصافى ، بل يتعين وجود نسبة من الأحماض أو القلويات المخففة لكى تنبت البذور ، وفى حالات أخرى يلزم تعريض البذور فترة من الزمان لدرجة حرارة مرتفعة نوعا أو منخفضة نوعا قبل استنباتها .

وقد لوحظ فى بعض النباتات أن تعريض البذور لدرجة حرارة منخفضة — قبل زراعتها — يؤدى إلى تقصير دورة الحياة وزيادة المحصول ، ونعرف هذه الظاهرة بالارتباع ، (Vernalization) ، وتستغل اقتصاديا فى بعض الدول لإنتاج محصول مبكر من بعض النباتات ، وخاصة الحبوب .

---

(١) يسبب ارتفاع درجة الحرارة زيادة سرعة العمليات الكيميائية والفيزيائية والفسيولوجية . وقد وجد فانت هوف أن النسبة بين سرعة عملية ما عند درجة حرارة معينة وسرعتها عند درجة حرارة أقل منها بمقدار ١٠ درجات مئوية هى : (١,٢ — ١,٣) فى العمليات الفيزيائية والفسيولوجية ، و (٢ — ٣) فى العمليات الكيميائية . وقد أطلق على هذه النسبة اسم : « المعامل الحرارى » (Temperature coefficient) .

وهناك أنواع من البذور تحتاج إلى التعرض للضوء قبل الإنبات ، على أن تنقل بعد ذلك إلى الظلام ، وأنواع أخرى تضار بالتعرض للضوء ، أما بذور الطفيليات الجذرية — مثل الهالوك — فلا تنبت إلا بجوار العائل .

التغيرات التى تطرأ على البذرة أثناء الإنبات

تطرأ على البذرة عند إنباتها ثلاثة أنواع من التغيرات :

١ — تغيرات فيزيائية .

٢ — تغيرات كيميائية .

٣ — تغيرات أحيائية .

أما التغيرات الفيزيائية فتحدث فى كل البذور عند نقعها فى الماء أو وضعها فى تربة رطبة ، سواء كانت تلك البذور حية أم ميتة ، وتشمل هذه التغيرات امتصاص البذرة للماء وانتفاخها وازدياد حجمها ، وما يتبع ذلك من زوال التجعدات التى بالقصرة حتى تصبح ملساء ، ثم تمزقها بعد ذلك نتيجة ازدياد الضغط عليها من الداخل .

وأما التغيرات الكيميائية فتتلخص فى تحول المواد الغذائية المختزنة من صورة غير ذائبة إلى أخرى ذائبة ، حتى تستطيع بذلك أن تنفذ من خلال جدر الخلايا ليمتصها الجنين ، فيتغذى ويكبر . ذلك لأن الأصل فى اختزان المواد الغذائية — سواء فى الفلقات أو فى الإندوسبرم — أن تكون على صورة غير ذائبة ، فلكى يستفيد منها النبات النامى يلزم أن تتحول إلى الحالة الذائبة .

ويحدث التحول الغذائى بوساطة مواد خاصة —هى الإنزيمات (Enzymes) — تقوم بتكوينها المادة الحية فى أنسجة الفلقات أو غيرها من أجزاء البذرة الحية ، تلك الأجزاء التى تنشط نشاطاً ملحوظاً بعد امتصاصها للماء .

وأهم المواد الغذائية المختزنة هى النشاء ، وهو يحتاج إلى إنزيم الدياستيز لكى يتحول إلى سكر ، والمواد البروتينية التى تحتاج إلى إنزيم البروتييز لكى

تتحول إلى أحماض أمينية ، والدهون والزيوت ، وتتحول إلى جلسرين وأحماض دهنية بفعل إنزيم الليبيز ، والسليلوز الذى يتحول إلى سكر ثنائى بتأثير إنزيم السليوليز (Cellulase) ، أما نصف السليلوز فيتحول بانزيم السيتيز إلى سكرات أحادية .

ويوجد النشاء فى الحبوب ، كالذرة والقمح والشعير ، كما توجد المواد البروتينية فى بذور القرنيات ، كالفول والترمس والفاصوليا ، والزيوت فى بذور القطن والسمسم والخروع ، ونصف السليلوز فى البلح والدوم .

وأما التغيرات الأحيائية فهى أهم أنواع التغييرات جميعا ، ويسبقها دائماً النوعان الآخران ، وفيها تنشط الخلايا الإنشائية التى يتكون منها الجنين . فتنقسم ، ثم تزداد الخلايا الناتجة فى الحجم ، ونتيجة لهذا النمو تظهر الريشة فوق سطح الأرض ، ويضرب الجذير فى باطنها ، وبذلك تتحول البذرة إلى بادرة ، وتكبر البادرة وتكون أوراقا خضراء ، وتتحول بالتدريج إلى نبات مستقل ، يعتمد على نفسه فى تجهيز غذائه .

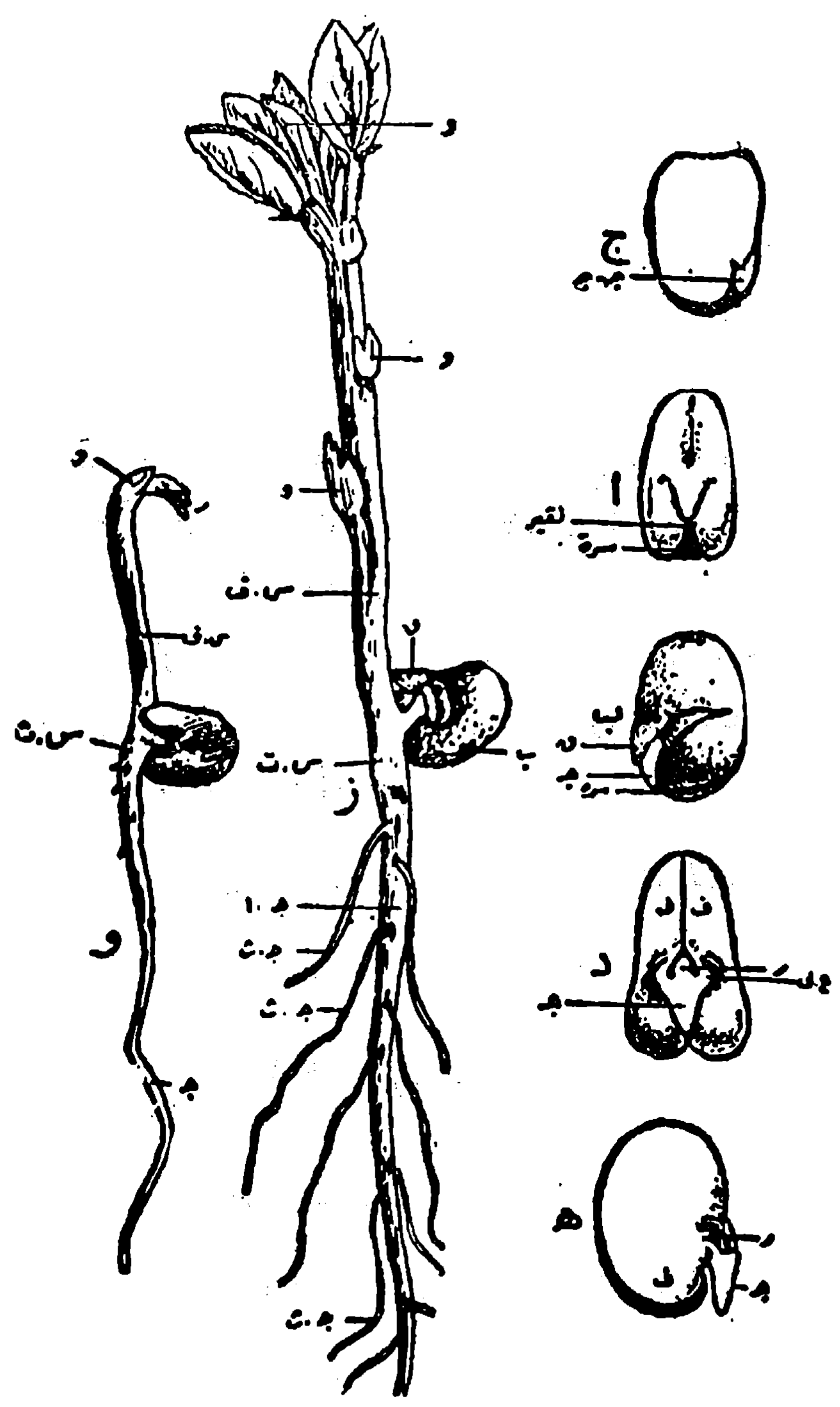
ولتوضيح طرق الإنبات وأدواره فى بذور النباتات المختلفة نضرب الأمثلة الآتية :

أولا — بذور ذوات الفلقتين

١ — بذرة الفول (vicia fapa) :

بذرة الفول مستطيلة قليلا ومفلطحة ، لها وجهان عريضان وجانبان ضيقان ، وهى لا إندوسبرمية ، تتكون من جنين تحيط به قصرة جلدية ، وبأحد طرفيها ندبة سوداء مستطيلة ، تعرف بالسرة (Hilum) ، تحدد موضع اتصال البذرة بجدار الثمرة عن طريق الحبل السرى (Funicle) . ويوجد على أحد الجانبين الضيقين بقرب السرة انتفاخ مثلث الشكل ، يحدد موضع الجذير تحت القصرة (شكل ٢ : ١)

(شكل ٢)



بذرة الفول وأطوار انباتها : (ا) منظر جانبي للبذرة ، (ب) و(ج) منظران أماميان ، (د) منظر جانبي لبذرة منقوعة نزعت عنها القصرة ، (هـ) منظر أمامي لبذرة منقوعة نزعت عنها قصرتها، كما نزعت الفلقة الأمامية لإظهار الريشة . (و ـ ز) طوران من أطوار الإنبات، (ج) جذير ، (ج.ج) جيب الجذير ، (ر) ريشة ، (س. ت) سويقة تحت فلقية ، (س . ف) سويقة فوق فلقية، (ع .ف) عنق الفلقة، (ف) فلقة ، (ق) قصرة ، (ج .ث) جذر ثانوى،

إذا نقعت بذرة الفول الجافة فى الماء وقتاً كافياً امتصته وانتفخت ، فزاد حجمها ، وأصبحت قصرتها طرية ملساء يسهل نزعها . وإذا ضغطت البذرة المنقوعة بين السبابة والإبهام لوحظ خروج الماء من ثقب ضيق جداً فى قمة الانتفاخ المثلث الدال على موضع الجذير ، يعرف بالنقير (Micropyle) شكل (٢ : ا) ، وهو يقع بين قمة الجذير وطرف السرة ، ولا يرى بالعين المجردة ، وإنما يستدل على موقعه بخروج الماء منه فى البذرة المنقوعة ، وخروج فقاعات هوائية دقيقة إذا وضعت البذور الجافة فى كأس به ماء ثم سخن ذلك الماء ، لأن الهواء الذى بداخل البذرة يتمدد بالحرارة فلا يجد له مخرجا سوى ثقب النقير .

وإذا نزعت القصرة عن البذرة المنقوعة انكشف الجنين ، وظهرت الفلقتان لحميتين مكتنزتين بالمواد الغذائية — وهى هنا مواد بروتينية ونشوية— وبينهما تختبىء الريشة ، بينما يبقى الجذير ظاهراً خارجهما . ويلاحظ أن الجذير يستقر فى غمد داخلى من القصرة ، يعرف بجيب الجذير (Radicle pouch) فى قمته ثقب النقير (شكل ٢ : ج) .

وباستمرار انتفاخ البذرة المنقوعة تتمزق القصرة ، ويبدأ التمزق عادة فوق الجذير عند النقير (شكل ٢ : ب) ، والسبب فى ذلك أن الجذير أكثر أعضاء الجنين امتصاصا للماء ، لقربه من النقير ، وهو لذلك أكثرها انتفاخا وضغطا على القصرة . وبتمزق القصرة يبرز الجذير إلى الخارج ، وينمو فى التربة بسرعة ، متجها إلى أسفل بتأثير الجاذبية الأرضية : ثم يستطيل عنقا الفلقتين وينفرجان قليلا فتتحرر الريشة من مكمنها بينهما (شكل ٢ ، د ، هـ) وتبدأ فى الاستطالة والخروج من البذرة . وتكون الريشة مقوسة فى البادرة الصغيرة (شكل ٢ : و) بحيث تنحنى قمتها النامية إلى أسفل ، فلا تتعرض للتمزق بسبب الاحتكاك بالتربة أثناء اختراقها لها ، ويستمر نمو الريشة حتى تبلغ سطح الأرض ، وعندئذ تبدأ ساقها فى الاعتدال (شكل ٢ : ز) ، ويختفى التقوس بالتدريج ، ثم لاتلبث أن تعطى أوراقاً خضراء ، وتتحول رويدا إلى مجموع خضرى ، مكون من ساق وأوراق وبراعم إبطية وطرفية .

وتختلف الورقتان اللتان تكونهما البادرة فى أول تكشفها ، وهما المعروفتان بالورقتين الأوليتين Prophylls (و - شكل ٢ : ز) ، عن الأوراق التى تتكون بعد ذلك ، إذ أنهما أصغر حجما وأبسط تركيبا من الأوراق العادية لنبات الفول . كما أنهما جالستان غير مؤذنتين ، ذواتا قاعدتين عريضتين تلتفان حول جزء كبير من محيط الساق ، وحافة مشرشرة غير منتظمة . أما الأوراق العادية لنبات الفول فهى كبيرة مركبة ، ومؤذنة معنقة .

وتبقى الفلقتان تحت الأرض فى حالة الفول ، ولذلك يسمى الإنبات أرضياً (Hypogeal) ، ويفصل الجذير عن الفلقتين جزء من محور البادرة يعرف بالسويقة تحت الفلقية (Hypocotyl) (س. ت - شكل ٢ : ز) ، وهى تقع أسفل الفلقتين وتظل قصيرة فى الفول وفى جميع حالات الإنبات الأرضى بوجه عام . أما جزء المحور الذى يقع فوق الفلقتين ، ويفصلهما عن الورقة الأولية السفلى ، فيسمى السويقة فوق الفلقية (Epicotyl) (س . ف - شكل ٢ : ز) .

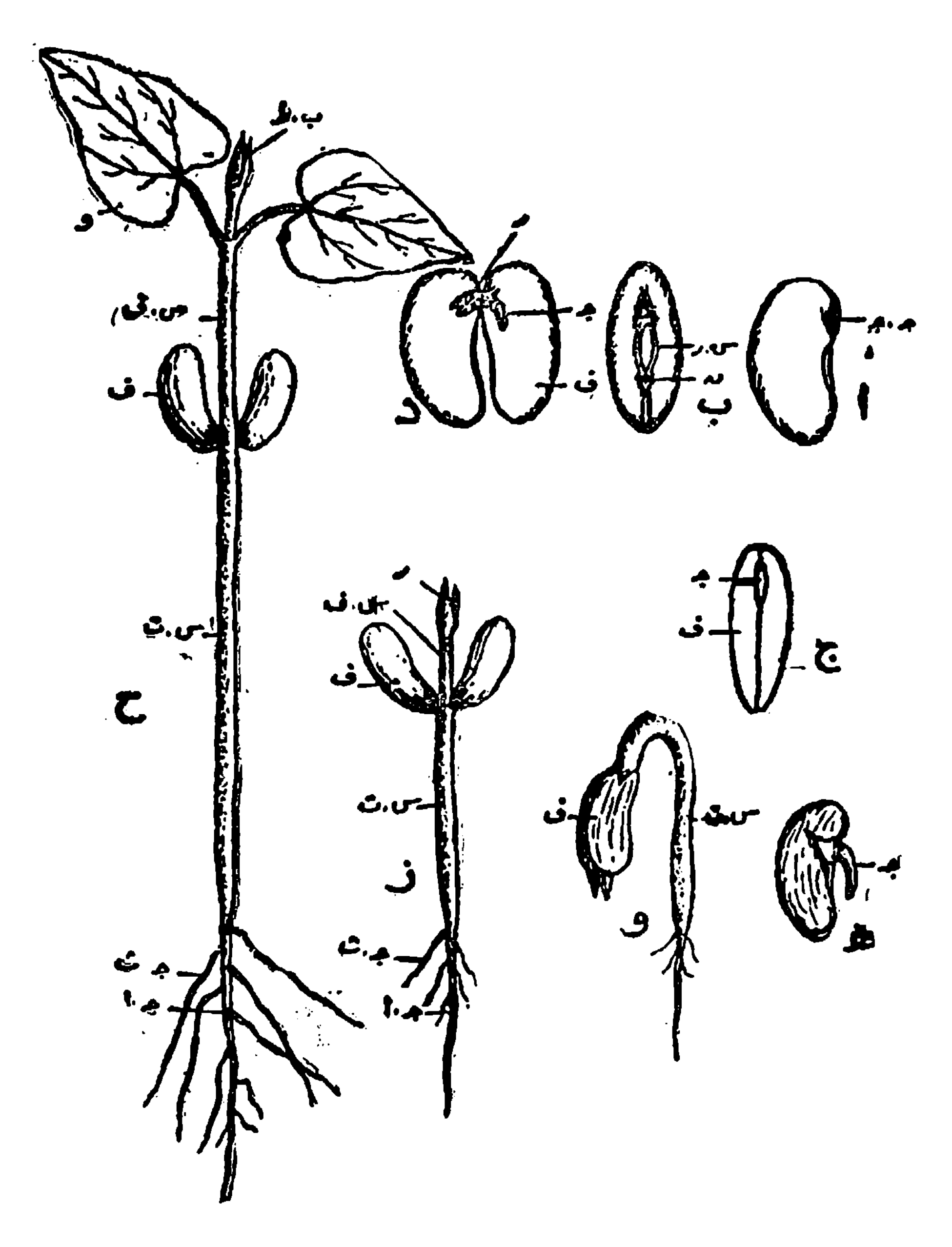
ويستنفد الغذاء المختزن فى الفلقتين تدريجيا فى تغذية الجنين أثناء الإنبات ، وينتهى بهما الأمر إلى الضمور والذبول عندما يصبح الجذر قادرا على الامتصاص والأوراق قادرة على التمثيل .

٢ - بذرة الفاصوليا (Phaseolus vulgaris) :

هى بذرة كلوية الشكل (شكل ٣ : ا) . بيضاء مغطاء بقصرة جلدية ، لها وجهان عريضان ، وجانبان ضيقان كبذرة الفول ، وفى وسط أحد الجانبين الضيقين ندبة غير داكنة ، هى السرة (شكل ٣ : ب) ، وعند أحد طرفى السرة يوجد انتفاخ صغير مثلث الشكل يدل على موضع الجذير ، كما يوجد النقير فى رأس ذلك المثلث .

وإذا نقعت البذرة الجافة فى الماء امتصته وانتفخت وزاد حجمها . وأصبحت ملساء لينة ، وزال مابها من تجعدات . وإذا نزعت القصرة عن البذرة المنقوعة وجد الجنين وحده بداخلها ، مما يدل على أن البذرة « لاإندوسبرمية » ، ويتكون الجنين هنا - كما فى الفول - من فلقتين متشحمتين

(شكل ٣)

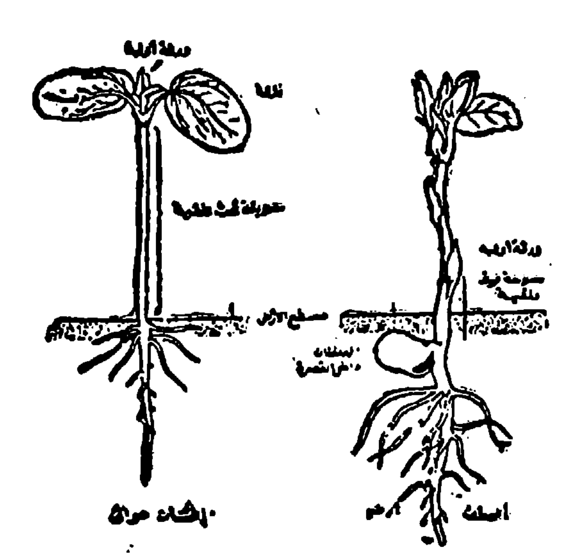


بذرة الفاصوليا وأطوار إنباتها . (ا) منظر أمامى للبذرة ، (ب) منظر جانبى ، (ج) منظر جانبى لبذرة متقوعة نزعت عنها القصرة ، (د) بذرة منقوعة نزعت عنها القصرة وانفرجت الفلقتان، (ه) الطور الأول فى الإنبات وقد تمزقت القصرة فوق الجذير وبدأ الأخير فى الخروج من البذرة والنمو إلى أسفل ، (و - ح) أدوار متعاقبة فى الإنبات، (ب.ط) برعم طرفى ، (ج) جذير ، (ج ا) جذر ابتدائى ، (ج.ث) جذر ثانوى ، (ج.ج) جيب الجذير ، (ر) ريشة ، (س.ت) سويقة تحت فلقية ، (س . ر) سرة . (س . ف) سويقة فوق فلقية ، (ف) فلقة ، (ن) نقير ، (و) ورقة .

لاختزانهما المواد الغذائية . وهى مواد بروتينية ونشوية ؛ ومن ريشة صغيرة مختبئة بين الفلقتين (شكل ٣ : د) وجذير رفيع مدبب الطرف خارجهما (شكل ٣ : ج) . وتلتقى الريشة والجذير والفلقتان جميعا فى نقطة واحدة .

وإذا استنبتت البذرة تمزقت القصرة بالقرب من الجذير (شكل ٣ : ه) نتيجة لانتفاخ الجنين وضغطه عليها ، واستطال الجذير وامتد فى التربة إلى أسفل ، ونمت السويقة تحت الفلقية سريعاً إلى أعلى حاملة معها الفلقتين والريشة (شكل ٣ : و) ، وتكون تلك السويقة فى أول الأمر منحنية إلى أسفل فتحمى الريشة من الاحتكاك المباشر بحبيبات التربة ، ثم لاتلبث الفلقتان أن تظهرا فوق سطح الأرض ، وعندئذ تستقيم السويقة وتنفرج الفلقتان ، فتتعرض الريشة للضوء والهواء (شكل ٣ : ز) . وتضمر الفلقتان شيئاً فشيئاً ، ثم لا تلبثان أن تسقطا بعد أن يكون قد استنفد كل ما بهما من غذاء مدخر أثناء الأطوار الأولى للإنبات ، وفى الوقت نفسه تخضر الريشة وتكبر ، وتتميز فيها الساق والأوراق الخضراء . وبذلك تتحول تدريجياً إلى مجموع خضرى ، كما يتفرع الجذير ويستمر فى النمو تحت الأرض حتى يتحول إلى

(شكل ٤)



رسم توضيحي يبين الفرق بين الإنبات الأرضي والإنبات الهوائي من حيث موضع البذور وطول السويقة تحت الفلقية

مجموع جذرى (شكل ٣ : ح) . ويسمى إنبات الفاصوليا هوائيا (Epigeal) لأن الفلقتين تظهران فى الهواء فوق سطح الأرض .

ويوضح (شكل ٤) الفرق بين الإنبات الأرضى والإنبات الهوائى

٣ — بذرة الترمس (Lupinus termis) :

تشبه بذرة الترمس فى شكلها بذرة الفول إلى حد ما ، سوى أنها أعرض وأكثر استدارة ، ويختفى نقيرها تحت نتوء من القصرة يغطى السرة (شكل ٥ : و) ، وهى بذرة لا إندوسبرمية ، ذات قصرة بيضاء جلدية متجعدة ؛ تزول تجعداتها وتصبح ماساء طرية عندما تنقع فى الماء وتنتفخ .

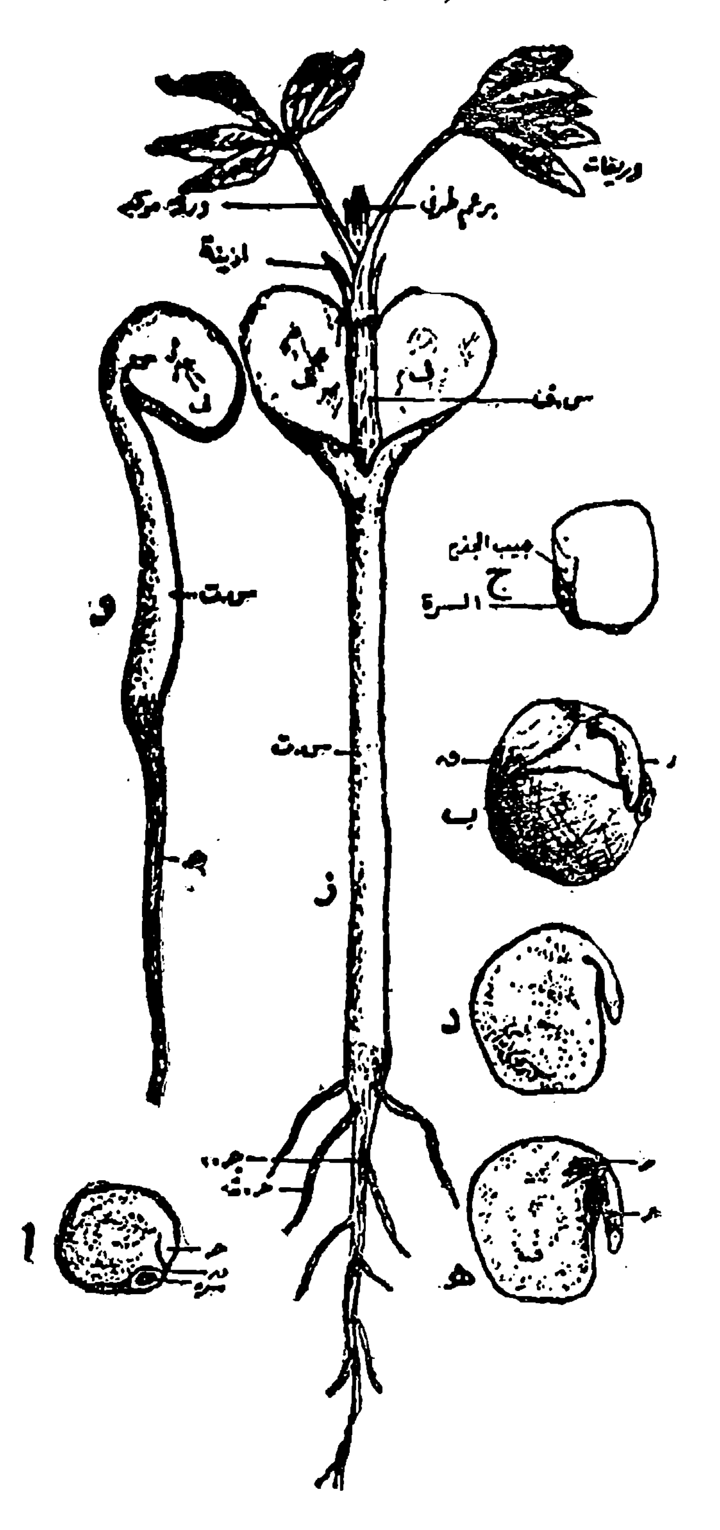
وتوجد السرة فى أحد أركان البذرة ، ويختبىء الجذير — كما فى الفول — فى جيب داخلى من القصرة ، فى قمته ثقب النقير (شكل ٥ : ج) . وتتمزق القصرة عند الإنبات بالقرب من الجذير (شكل ٥ : ب) وتنمو السويقة تحت الفلقية سريعاً إلى أعلى ، حاملة الفلقتين فوق سطح الأرض (شكل ٥ : و) ، أى أن الإنبات هنا هوائى كما فى الفاصوليا .

وتخضر الفلقتان قليلا عندما تتعرضان للضوء ، وتنفرجان لتظهرا الريشة ، ولكنهما لاتلبثان أن تضمرا وتسقطا ، وتتحول الريشة بالتدريج إلى مجموع خضرى ، مكون من ساق وأوراق راحية مركبة ، فى كل ورقة خمس وريقات ، ومن براعم إبطية وطرفية ، كما يتحول الجذير بالتدريج إلى مجموع جذرى ، يتغلغل فى الأرض ويتفرع (شكل ٥ : ز) .

٤ — بذرة الخروع (Ricinus communis) :

بذرة الخروع بيضية مستطيلة نوعاً ، وتنتهى فى أحد طرفيها بانتفاخ إسفنجى أبيض . يسمى البسباسة (Caruncle) ، يخفى تحته السرة والنقير (شكل ٦ : ا) ، والبسباسة تمثل تضخما فى قاعدة الحبل السرى ، الذى يوصل البذرة بالمشيمة (Placenta) على السطح الداخلى لجدار الثمرة .

(شكل ٥)



بذرة الترمس وأطوار إنباتها : (ا — ج) منظر سطحي للبذرة ، (د ـ ز) أطوار الإنبات المختلفة ، (ج) جذير ، (ج . ا) جذر ابتدائي ، (ج . ث) جذر ثانوي ، (س.ت) سويقة تحت فلقية (ر) ريشة ، (ف) فلقة ، (ق) قصرة ، (ن) نقير

والقصرة رقيقة سهلة الكسر ، بنية اللون مزركشة ، إذا نزعت وجد بداخلها جسم أبيض ، مغطى بغشاء رقيق يعرف بالشغاف (Tegmen) ، وبداخل الشغاف يوجد الإندوسبرم ، وهو نسيج ثخين يغلف الجنين ، ويختزن به زيت الخروع المعروف وكذلك المواد البروتينية ، كغذاء مدخر يعتمد عليه الجنين أثناء الإنبات ، فبذرة الخروع إذن بذرة إندوسبرمية .

وإذا قطعت البذرة بعد تقشيرها قطعاً طولياً منصفا ، وموازياً للسطحين العريضين ، أمكن رؤية الجنين . وهو يتكون كما فى (شكل ٦ : ب) من فلقتين غشائيتين ، بهما تعرق واضح ، يحيط بهما الإندوسبرم من الخارج ، ويفصلهما فراغ ، كما يشاهد فى قطاع مستعرض (شكل ٦ : ج) . وتتصل الفلقتان عند الطرف القريب من البسباسة بالجذير والريشة ، وهما هنا صغيران غاية الصغر (وخاصة الريشة) . وتقع قمة الجذير — وهو هنا جسم مخروطى صغير أبيض — تحت البسباسة مباشرة .

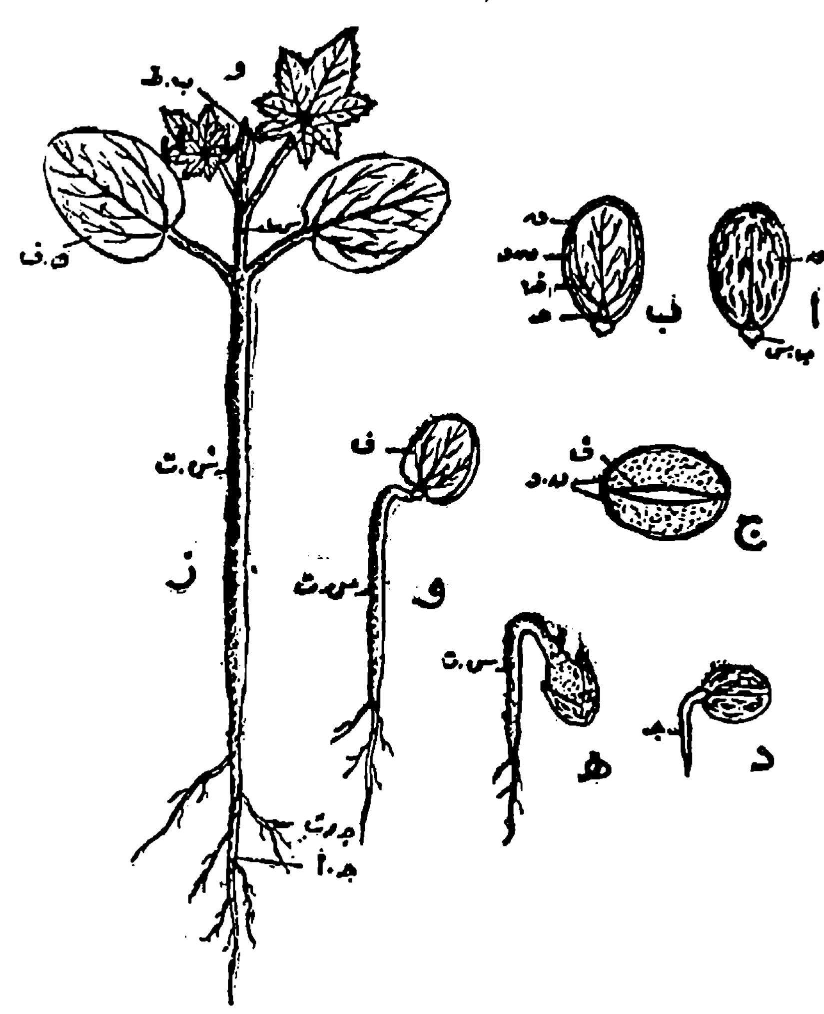
وعندما تستنبت بذرة الخروع تمتص البسباسة الماء وتنقله إلى الجنين والإندوسبرم ، فيكبران وينتفخان ، ويضغطان على القصرة حتى تنكسر ، ويخرج منها الجذير متجها إلى أسفل (شكل ٦ : د) ، ثم يعقب ذلك نمو السويقة تحت الفلقية واستطالتها وتقوسها (شكل ٦ : هـ) ، وتتعلق الفلقتان — ومن خارجهما الإندوسبرم وما يغلفه من بقايا القصرة — بطرف السويقة (شكل ٦ : هـ ، و) ، وتنسحبان خلفها أثناء نموها إلى أعلى تجاه سطح الأرض .

وتظهر بقية البذرة فى النهاية فوق الأرض — أى أن الإنبات هنا هوائى — وتستقيم السويقة ، ثم تنفض الفلقتان عنهما بقايا الإندوسبرم والقصرة ، وتنفرجان لتعرضا سطحيهما للضوء والهواء ، فتخضران وتكبران ، وتقومان بدور هام فى عملية التمثيل، وتعرفان حينئذ بالورقتين الفلقيتين (Cotyledonary leaves) (شكل ٦ : ز) ، وتبقيان على النبات مدة طويلة ، وفى ذلك تختلفان عن فلقات البذور السابقة (اللاإندوسبرمية) ، كالفول والفاصوليا ، التى تقتصر وظيفتها على اختزان المواد الغذائية وتزويد الجنين بها فحسب .

وتستمد الفلقتان غذاءهما أثناء الإنبات من الإندوسبرم الملاصق لهما ، إذ يمتص الإندوسبرم الماء من التربة ، ومن ثم تنشط الأنزيمات ، فتحلل المواد الغذائية المدخرة إلى مواد بسيطة ذائبة يمتصها الجنين النامى .

ويتأخر نمو الريشة بعض الشيء فى حالة الخروع وغيره من حالات البذور الإندوسبرمية ، ولكنها تكبر فى النهاية ، وتتحول بالتدريج إلى مجموع خضرى مكون من ساق وبراعم وأوراق مفصصة ، وفى الوقت نفسه ينمو الجذير إلى مجموع جذرى كامل .

(شكل ٦)

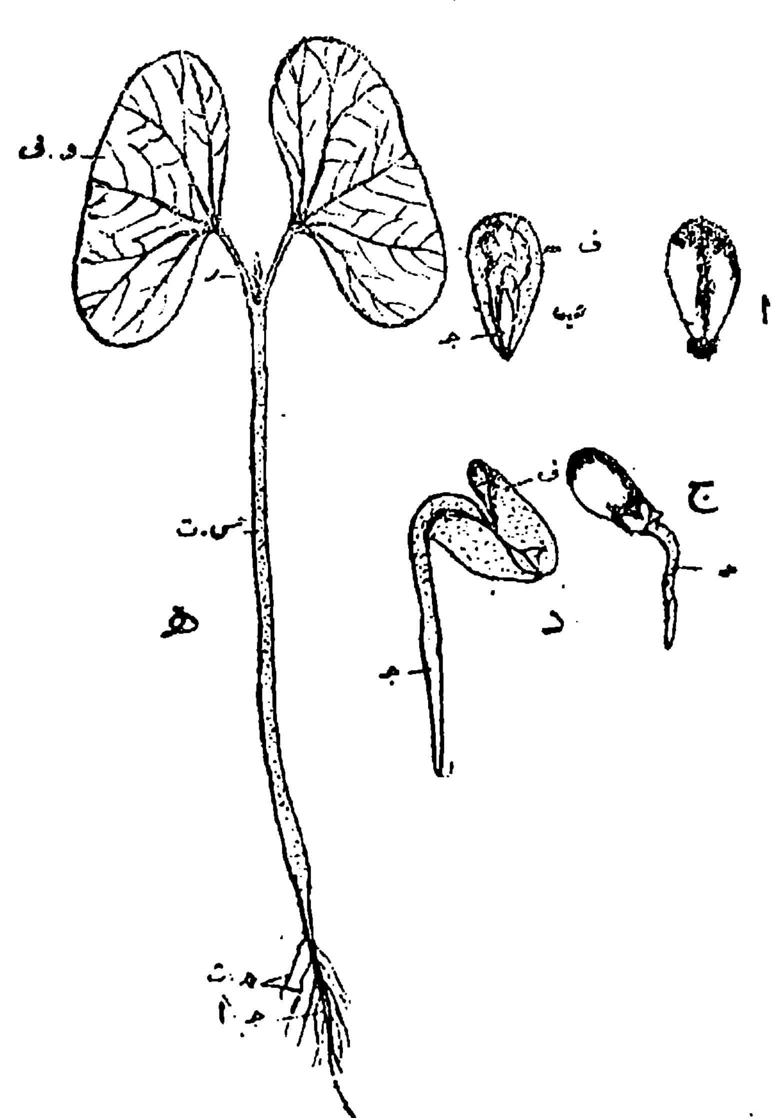


بذرة الخروع وأطوار إنباتها : (أ) منظر سطحى للبذرة ، (ب) قطاع طولى فيها موازٍ للسطح العريض ، (ج) قطاع مستعرض فى البذرة ، (د — ز) أطوار الإنبات المختلفة . (ب . س) بيباسة ، (ب . ط) برعم طرفى ، (ج) جذير ، (ج . ا) جذر ابتدائى ، (ب . ج) جذر ثانوى ، (س . ت) سويقة تحت فلقية ، (س . ف) سويقة فوق فلقية ، (ف) فلقة ، (ق) قصرة ، (ث . د) إندوسبرم ، (و) ورقة ، (و ف) ورقة فلقية .

٥ — بذرة القطن (Gossypium barbadense) :

بذرة القطن الجافة بنية اللون داكنة ، مخروطية الشكل (شكل ٧ : ا) ، تغطى سطحها شعور بيضاء غزيرة ، هى ألياف القطن المعروفة ، وهى تمثل امتدادات طويلة أنبوبية لخلايا بشرة القصرة ، ويوجد النقير فى طرف البذرة المدبب . وتمتد السرة بثلث طول البذرة من جهة النقير .

(شكل ٧)



بذرة القطن وأطوار إنباتها : (ا) منظر خارجى للبذرة ، (ب) قطاع طولى فيها ، (ج — هـ) أطوار الإنبات المختلفة ، (جـ) جذير ، (جـ . ا) جذر ابتدائى ، (جـ ث) جذر ثانوى ، (ر) ريشة ، (س . ت) سويقة تحت فلقية ، (ف) فلقة ، (و . ف) ورقة فلقية .

وإذا نزعنا القصرة نجد الجنين بداخلها ، مغلفا بغشاء رقيق أبيض ، هو بقايا الإندوسبرم . وتمتلىء البذور الناضجة امتلاء تاما بالجنين ، فيما عدا ذلك الغشاء الإندوسبرمى الرقيق ، وتعتبر بذرة القطن إندوسبرمية فى الأطوار المبكرة من تكونها ، لأنها تحتوى إذ ذاك على إندوسبرم ظاهر وغنى بالمواد الغذائية ، غير أن معظم هذا الإندوسبرم يستنفد بعد ذلك فى تغذية الجنين . ويتم استهلاكه قبل أن تنضج البذرة وتدخل فى طور السكون ، فلا يبقى منه فى البذرة الناضجة غير ذلك الغشاء الرقيق الذى سبق ذكره ، والذى يعرف أحيانا بالشغاف . وفى ذلك تختلف بذرة القطن عن بذور النباتات الأخرى التى يظل جنينها صغيرا وغذاؤها مدخرا لايستعمل إلا وقت الإنبات .

وجنين القطن (شكل ٧ : ب) كبير نسبياً إذا قورن بأجنة النباتات الأخرى . فالفلقتان رقيقتان ، وسطحهما كبير ، ولذلك تلتفان داخل البذرة لفات عديدة ، وتتغضنان لكثرة الالتفاف والتضاغط فى حيز ضيق ، أما الجذير فكبير نسبياً ويقع فى الطرف القريب من النقير ، وتحتوى جميع أعضاء الجنين خلايا زيتية ، بها زيت بذرة القطن المعروف ، الذى يمثل الغذاء المدخر فى البذرة ، ويستدل على وجوده بضغط بذرة مقشرة على قطعة من الورق وملاحظة تكون بقع زيتية عليها .

ويعتبر إنبات بذرة القطن هوائياً ، لأن الفلقتين تظهران فوق سطح الأرض ، نتيجة لاستطالة السويقة تحت الفلقية (شكل ٧ : ج ، د، هـ) . وتنثنى تلك السويقة فى أطوار الإنبات الأولى (شكل ٧ : ج ، د) ، ثم تستقيم بعد بلوغها سطح الأرض (شكل ٧ : هـ) ،وتنفرج الفلقتان لإظهار الريشة وتعريضها للضوء والهواء ، ثم تواصل الريشة والجذير نموهما ، لتكون الأولى المجموع الخضرى ، ويكون الثانى المجموع الجذرى للنبات . والأوراق الفلقية فى القطن عريضة خضراء كلوية الشكل ، تقوم بعملية البناء الضوئى . كفلقات الخروع ، ويمكن مشاهدة بقع داكنة على الفلقتين والسويقة تحت الفلقية .

ثانياً – بذور ذوات الفلقة الواحدة

حبة الذرة (Zea mays) :

تعتبر حبة الذرة ثمرة كاملة من نوع البرة ، التحمت فيها القصرة التحاما تاما بجدار الثمرة ، وهى عريضة مفلطحة ، أحد طرفيها مدبب ، تتصل عنده الحبة بالقولحة . والطرف الآخر مستدير ، توجد بوسطة على أحد الوجهين ندبة دقيقة بارزة هى بقايا القلم الذى جف وضمر . وفى وسط السطح العريض يوجد منخفض بيضى الشكل يحدد موضع الجنين ، ويغطيه غشاء رقيق ، هو غلاف الحبة الذى يمثل القصرة وجدار الثمرة الملتحمين (شكل ٨ :ا) .

وإذا نقعت الحبة فى الماء امتصته فـلانت وانتفخت وزاد حجمها . وإذا نصفت الحبة المنقوعة طوليا فى مستوى عمودى على السطح العريض – ومار بمنتصف المنخفض البيضى – ظهرت أجزاؤها على السطح المقطوع ، وأمكن فحصها ودراستها (شكل ٨ : ج) .

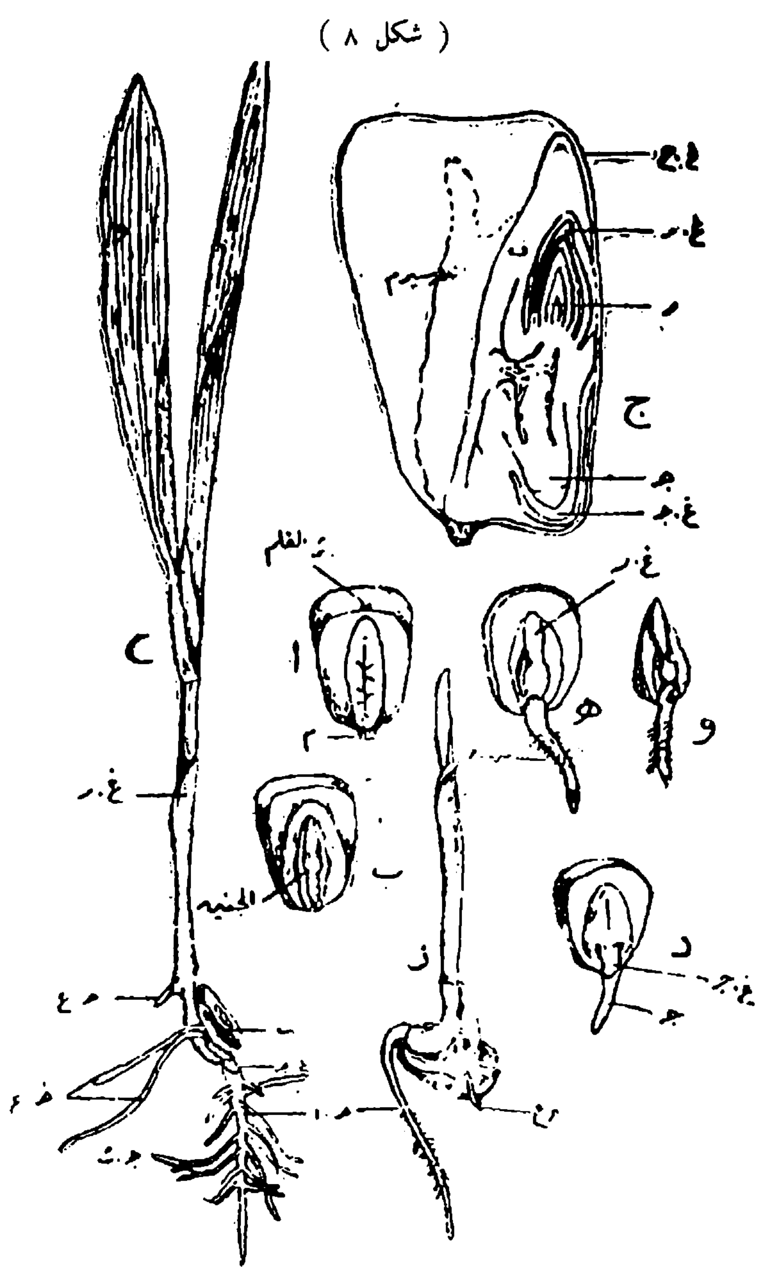
وحبة الذرة إندوسبرمية ، يملأ الإندوسبرم جانبا كبيرا منها ، بعضه نشوى أبيض يعرف بالأندوسبرم الدقيقى (Mealy endosperm) ، والبعض الآخر زلالى شفاف عديم اللون شديد الصلابة فى الحبة الجافة ويعرف بالإندوسبرم القرنى (Horny endosperm) . ويشغل الجنين الجزء الداخلى القريب من الطرف المدبب ويتكون من ريشة وجذير ، كل منهما داخل غمد خاص به ، ومن فلقة واحدة تعرف بالقصعة (Scutellum) ، تمتد ملاصقة للإندوسبرم عند الجانب الداخلى للريشة والجذير .

ويتصل بالجنين عند موضع اتصال الريشة بالجذير نتوء صغير يكمن تحت الغلاف ، ويمثل أصل الجذور العرضية فى الجنين .

وتفرز القصعة فى الحبة المستنبتة إنزيمات تحلل الغذاء المدخر فى الإندوسبرم وتحيله إلى حالة ذائبة تجعله قابلا للانتشار ، فيمتصه الجنين وينمو ، ويتحول إلى بادرة .

وفى تكوين البادرة الصغيرة يمتص الجنين الماء فينتفخ ، ويضغط على غلاف الحبة فيمزقه ، ويمتد الجذير داخل غمده إلى أسفل مهما كان وضع الحبة فى التربة (شكل ٨ : د – و) ، ثم لايلبث غمد الجذير أن يتمزق

(شكل ٨)



حبة الذرة وأطوار انباتها : (أ) منظر خارجى للحبة الجافة ، (ب) منظر خارجى للحبة المنقوعة ، (ج) قطاع طولى فى حبة الذرة مواز للسطح الضيق ومار بالجنين ، (د – ح) أدوار الإنبات المختلفة ، (ج) الجذير ، (ج . ا) ، جذر ابتدائى ، (ج.ث) جذر ثانوى ، (ج.ع) جذر عرضى (ر) الريشة ، (ش.ج) شعيرات جذرية ، (غ . ج) غمد الجذير ، (غ . ح) غلاف الحبة ، (غ . ر) غمد الريشة ، (ف) الفلقة ، (م) موضع اتصال الحبة بالقولحة

ويخرج منه الجذير نفسه ، ويواصل نموه مكونا الجذر الابتدائى كما تمتد الريشة إلى أعلى داخل غمدها ، ويساعد طرف الغمد الحاد المدبب على اختراق التربة حتى تظهر الريشة فوق سطح الأرض دون أن يصيبها أى تمزق . وتعتمد الريشة والجذير فى نموهما على الغذاء الذى يمتصانه من الحبة . وتظل الأخيرة تحت سطح الأرض حتى ينفد مابها من غذاء مدخر ، فتضمر وتجف. فإنبات حبة الذرة إذن إنبات أرضى .

وباستمرار نمو البادرة يتفرع الجذر الابتدائى **ليعطى** جذوراً ثانوية وجذيرات تتغلغل فى التربة ، كما تظهر على التوالى جذور عرضية ، تنشأ من الجنين عند موضع اتصال الريشة بالجذير ، وتنمو أسرع مما ينمو الجذر الابتدائى الناشىء من الجذير نفسه ، ولا تلبث أن تحل محله مكونة المجموع الجذرى لنبات الذرة ، وهو مكون من عدد من الجذور الليفية أو الخيطية ، تكاد تتساوى فى الغلظ والطول ، كذلك تتحول الريشة بالتدريج إلى مجموع خضرى تتميز فيه الساق والأوراق (شكل ٨ : ج) ، والأخيرة ذات أنصال ضيقة مستطيلة ، متوازية التعرق ، وأغماد مغلفة للساق .

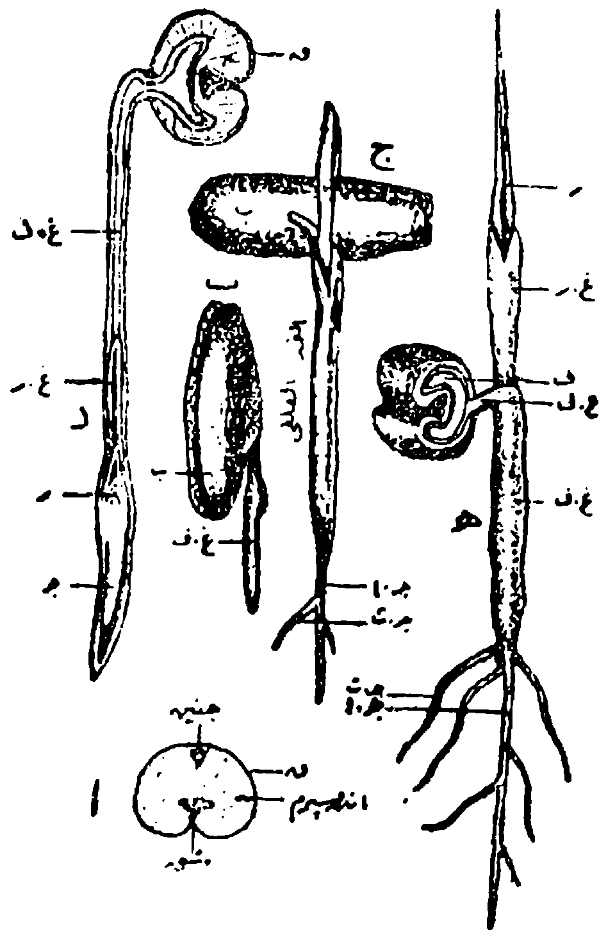
وتشبه حبة القمح فى إنباتها حبة الذرة إلى حد كبير .

٧ — بذرة البلح (Phoenix dactylifera) :

بذرة البلح مستطيلة ، مغطاة بقصرة بنية داكنة ، أحد سطحيها محدب ، والآخر به شق طولى بداخله بقايا أغلفة جافة (شكل ٩ : أ) . وعلى السطح المحدب — فى ثلث طول البذرة تقريبا — توجد بقعة منخفضة قليلا ، صغيرة ومستديرة ، تحدد موضع الجنين .

وإذا قطعت البذرة الجافة قطعاً مستعرضاً مارا بموضع الجنين — وفحص السطح المقطوع — شوهد الجنين كجسم أبيض دقيقى ، ملامس للقصرة ، يحيط به إندوسبرم قرنى من مادة صلبة نصف شفافة ، تشغل البذرة جميعها ، عدا حيز ضئيل لايكاد يذكر ، يشغله الجنين ، ويتكون الإندوسبرم من مواد نصف سليلوزية (Hemicellulose) . ولا يمكن فى البذرة الجافة تمييز أجزاء الجنين بالعين المجردة لصغرها :

(شكل ٩)



بذرة البلح وأطوار إنباتها . (ا) قطاع مستعرض فى بذرة البلح ، (ب ـ هـ) أطوار الإنبات المختلفة . (ب) بذرة ، (جـ) جذير ، (جـ . ا) جذر ابتدائى ، (جـ . ث) جذر ثانوى ، (ر) ريشة ، (ع ـ ف) عنق الفلقة ؛ (غ . ر) غمد الريشة ، (غ . ف) غمد الفلقة ، (ف) فلقة ، (ق) قصرة .

وعندما تستنبت البذرة ، تمتص المـــاء ، فيفرز الجنين إنزيمات تحالل الإندوسبرم من حوله ، ثم يمتصه فى حالة ذائبة فيكبر ،وتظهـــر أجزاؤه بوضوح ويستغرق إنبات بذرة البلح وقتاً أطول مما يستغرقه إنبات البذور الأخرى التى سبق وصفها .

ويكبر الجنين بالتدريج على حساب الإندوسبرم ، ويخرج منه جزء إلى خارج البذرة — يعرف بغمد الفلقة (Cotyledonary sheath) (شكل ٩ : ب-هـ) — يحتوى الريشة داخل غمدها ، وكذلك الجذير ، ويغلفهما تغليفاً تاما. ويظل

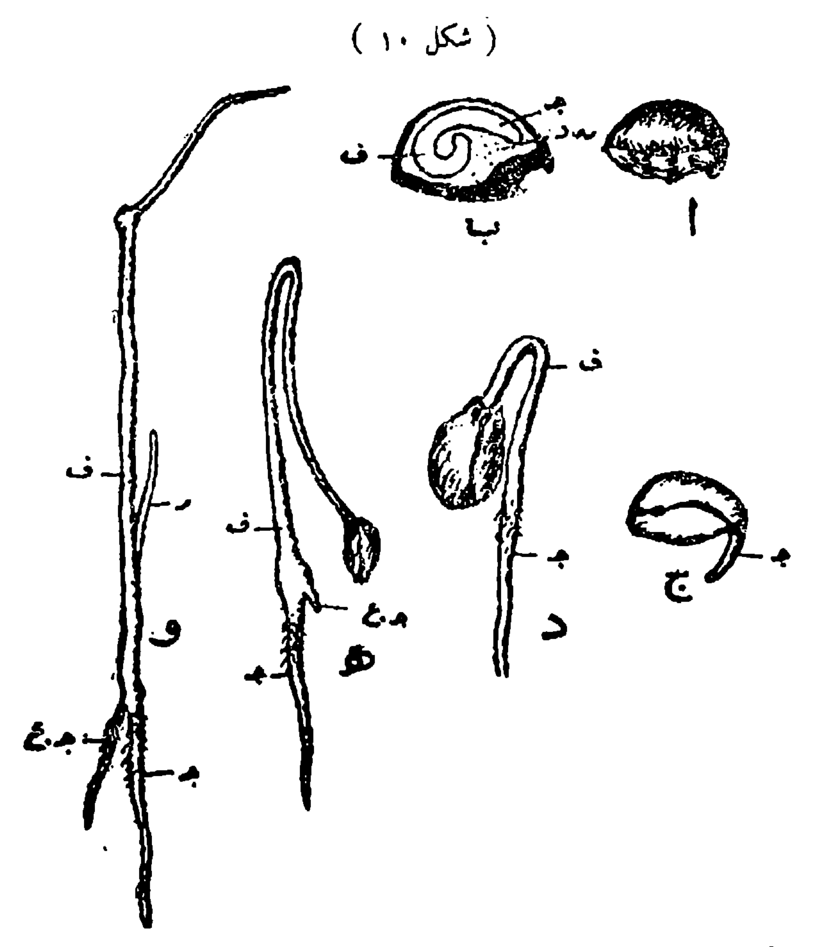
جزء من الفلقة داخل البذرة ويعرف بالجزء الماص (Absorbing part) ، ويتخذ شكلا هلاليا (شكل ٩ : ب — هـ) . ووظيفة هذا الجزء إفراز الإنزيمات وإذابة الإندوسبرم ثم امتصاصه وتوصيله إلى بقية أجزاء الجنين . ويتصل الجزء الماص بالغمد الخارجي بوساطة عنق قصير ، يسمى عنق الفلقة (Cotyledonary stalk) (شكل ٩ : هـ) ، ويكبر الجزء الماص بالتدريج على حساب الغذاء المختزن حتى يشغل جميع فراغ البذرة .

وباستمرار الإنبات ينمو الجذير إلى أسفل ، مكونا جذراً ابتدائياً ، تخرج منه جذور ثانوية صغيرة وجذيرات ، وذلك هو المجموع الجذرى . أما الريشة فتتجه إلى أعلى — وهى ما تزال فى غمدها — مخترقة غمد الفلقة بعد تمزيقه ، ثم يتبع ذلك تمزق غمد الريشة وظهور الورقة الخوصية الأولى (شكل ٩ : هـ) . وبذلك تتحول الريشة بالتدريج إلى مجموع خضرى . ويلاحظ أن إنبات البلح أرضى ، لأن البذرة تبقى باستمرار تحت سطح الأرض . ولا تلبث المادة الغذائية التى بها أن تنفد ، مما يؤدى إلى ضمورها وجفافها .

٨ — بذرة البصل (Allium cepa)

بذرة البصل صغيرة سوداء غير منتظمة ، توجد بأحد أركانها ندبة غائرة تمثل السرة (شكل ١٠ : ا) . وعندما تنقع البذرة فى الماء تمتصه وتنتفخ وتصبح لينة ، فإذا قطعت طوليا فى وسطها لوحظ أن قصرتها السوداء تغلف كتلة من الإندوسبرم ، يستقر فى وسطها الجنين (شكل١٠ : ب). والجنين هنا ملتو مستطيل ، مدبب الطرفين . وجزؤه القريب من السرة يمثل الجذير ، أما الجزء البعيد فيمثل الفلقة وبداخلها الريشة . وتلتقى أجزاء الجنين الثلاثة فى موضع واحد ، أقرب إلى الطرف الذى به السرة منه إلى الطرف الآخر . وتحتوى الريشة على عدد من الأوراق البرعمية الجوفاء ، يغلف بعضها بعضاً .

(شكل ١٠)



بذرة البصل وأطوار إنباتها : (ا) الشكل الخارجي للبذرة ، (ب) قطاع طولي في بذرة منقوعة ، (ج — و) أطوار الإنبات المتتالية : (ج) جذير . (جـ . ع) جذر عرضي ،(ر) ريشة ، (ف) فلقة ،(ن) إندوسبرم .

وعندما تستنبت البذرة ، يكون الجذير أسبق الأعضاء إلى إمتصاص المـــاء والنمو ، وتؤدى إستطالته إلى إختراقه القصرة عند السرة ، والبروز خارج البذرة (شكل ١٠ : ج) ، وتلى الفلقة الجذير فى الظهور . وتستطيل بسرعة حتى يصل طولها إلى بضعة سنتيمترات ، وتبدو خضراء اسطوانية . والفلقة هنا غمدية وتغلف الريشة فى أطوار الإنبات المبكرة ، وتبدو منحنية فى أول الأمر (شكل ١٠ : و) ، تجر خلفها بقايا البذرة أثناء نموها إلى أعلى تجاه سطح الأرض . ويؤدى طرف الفلقة — الذى يبقى داخل البذرة — وظيفة الامتصاص إذ يفرز الإنزيمات التى تذيب الأندوسبرم ،

ثم يمتصه فى حالته الذائبة ، وينقله إلى باقى أجزاء الجنين . وبعد نفاد الغذاء المختزن . يذبل طرف الفلقة المـــاص ، وينفصل عن غلاف البذرة الفارغة.

وتستقيم الفلقة المنحنية بعد أن تبلغ سطح الأرض (شكل ١٠ : و) ، وقد تحمل معها بقايا الغلاف البذرى الذى يظل عالقاً بطرفها الهوائى فترة من الزمن ، ثم ينفصل عنها ويسقط ، ويحدث ذلك عادة إذا كانت التربة خفيفة متفككة ، أما إذا كانت طينية ثقيلة فإن الغلاف البذرى يبقى تحت الأرض حتى يذبل طرف الفلقة وينفصل عنها . وتعتبر الفاقة أولى الأوراق الخضراء التى ينتجها النبات ، ولذلك يعد الإنبات هنا هوائياً .

ويلاحظ وجود تضخم فى قاعدة الفلقة عند موضع اتصالها بالجذير ، ويعزى هذا التضخم إلى وجود الريشة داخل الجزء القاعدى للفلقة الغمدية . وفوق هذا الجزء بمسافة قصيرة يوجد شق ضيق تخرج منه الريشة عندما تتقدم البادرة فى النمو . وتتكون الريشة فى بدء ظهورها ممثلة بورقة واحدة خضراء لا تلبث أن تتلوها بسرعة أوراق أخرى : ويتم ظهور الأوراق المتعاقبة بالترتيب حيث تخرج كل ورقة من شق صغير فى أحد جوانب الورقة التى سبقتها .

ويتكون الجذر الإبتدائى من الجذير ، ولكنه لا يعمر طويلا ، إذ سرعان ما تنمو من قاعدة الساق جذور عرضية لتحل محله (شكل ١٠ :و)، كما هو الحال فى الذرة والقمح ، وغيرهما من النباتات ذوات الفلقة الواحدة .

الباب السابع

الجذر

علمنا من الباب السابق أن أصل المجموع الجذرى فى البذرة هو الجذير ، لأنه يكون المحور الرئيسى لذلك المجموع ، الذى يعرف بالجذر الإبتدائى ، كما رأينا أيضاً أنه فى نباتى الذرة والقمح - وغيرهما من نباتات ذوات الفلقة الواحدة - لا يستمر نمو الجذر الابتدائى طويلا ، بل يتوقف بعد فترة وجيزة ، وتخرج من قاعدة الساق الجنينية جذور إضافية ، تعرف بالجذور العرضية (Adventitious roots) ، تنمو بسرعة لتحل محل الجذر الإبتدائى وفروعه ، مكونة المجموع الجذرى المستديم..

الوظائف الأساسية للجذر

يقوم الجذر فى النباتات الراقية ، أساساً ، بالوظائف الآتية :

١ - **تثبيت النبات فى التربة :** يتغلغل الجذر الرئيسى عمودياً فى أغوار التربة ، وتضرب فروعه الجانبية مائلة فى كل اتجاه ، وتلتصق الجذور وشعيراتها التصاقاً وثيقاً بحبيبات الأرض ، وينشعب المجموع الجذرى فى حيز كبير منها ، فيساعد كل ذلك على تدعيم النبات وتثبيته .

٢ - **امتصاص المـاء والأملاح الذائبة :** يحدث الامتصاص بوساطة الشعيرات الجذرية وخلايا الطبقة الوبرية فى منطقة الامتصاص .

٣ - **اختزان الغذاء المدخر :** ويحدث ذلك فى حالات خاصة ، كما فى جذور البطاطا والداليا واللفت والبنجر والفجل والجزر وما إليها من الجذور المنتفخة المتضخمة .

مناطق الجذر

إذا فحصنا جذر بادرة صغيرة من بادرات الفول أو الذرة ، لاحظنا وجود منطقة نمو (Growing region) فى قمته ، مكونة من خلايا إنشائية رقيقة ، تنقسم بنشاط لتعطى خلايا جديدة باستمرار . وتغطى هذه القمة النامية قلنسوة (Calyptra) تحفظها من التمزق أثناء تغلغل الجذر فى التربة . ومنطقة النمو هذه لا تقتصر على الجذر وحده ، بل توجد أيضاً فى أطراف الجذور البالغة ، سواء منها الجذور الأصلية والفرعية ، ويتمزق السطح الخارجى للقلنسوة بالتدريج ويصير لزجا ، مما يساعد على انسيابه بسهولة بين حبيبات التربة . ويعوض ما يتمزق من خلايا السطح الخارجى بخلايا جديدة ، تضيفها القمة النامية إلى القلنسوة من الداخل ، وبذلك يظل سمك القلنسوة ثابتاً .

وتلى القمة النامية بالجذرمنطقة أخرى تعرف بمنطقة الاستطالة (Zone of elongation) ، فيها تستطيل الخلايا الجـــديدة المتكونة فى القمة ، ولإثبات حدوث الاستطالة فى هذه المنطقة دون غيرها تجرى التجربة البسيطة الآتية : ترسم على سطح جذر معتدل خطوط أفقية متوازية بالحبر الصينى على أبعاد متساوية.ولتكن ملليمترا واحداً مثلا،ويبدأ بالتقسيم من طرف الجذر (شكل ١١ : ا) ، ويتابع حتى بداية الشعيرات الجذرية . تثبت البادرة بعد ذلك فى قرص من الفلين أو قطعة من الخشب بدبوس يمر بالفلقتين ، بحيث يتجه الجذر عمودياً إلى أسفل . ثم يوضع قرص الفلين أو قطعة الخشب فى مخبار يحتوى على قليل من الماء . وتبطن جوانبه الداخلية بورق نشاف مشبع بالماء . ويغطى المخبار ويحفظ فى مكان مظلم دافىء لمدة يومين ، ثم يفحص الجذر بعد ذلك ، فيلاحظ أن المسافات التى بين الخطوط المرسومة على سطحه لم تبق ثابته بل زاد بعضها زيادة ملحوظة ، فالمنطقة التى تباعدت فيها العلامات تحدد منطقة الاستطالة . ويلاحظ أن تباعد الخطوط — وهو يعبر عن سرعة النمو فى الطول — أكبر مايكون فى وسط هذه المنطقة ،ويقل بالتدريج كلما اقتربنا من طرفيها (شكل ١١ : ب) .

وتلى منطقة الاستطالة منطقة أخرى تعرف بمنطقة الامتصاص (Absorbing zone) ، وفيها يتغطى سطح الجذر بشعيرات بيضاء تعرف بالشعيرات الجذرية (Root hairs) . ولا يبدأ خروجها من الجذر إلا بعد أن تنتهى منطقة الاستطالة ، وبذلك لا يتغير موضعها فى التربة ، فلا تتمزق بالاحتكاك. والشعيرات زوائد أنبوبية رقيقة الجدر ، تمثل امتدادات من خلايا الطبقة الوبرية ، تشق طريقها فى التربة وتلتصق بحبيباتها التصاقاً وثيقاً . لتمتص الماء من الأغشية المغلفة لهذه الحبيبات بما فيه من أملاح ومواد ذائبة ، وتغطى الشعيرات منطقة من الجذر محدودة الطول ثابتة البعد عن القمة النامية ، ويعزى ثبوت بعدها عن تلك القمة إلى كون الشعيرات محدودة العمر تؤدى وظيفتها لبضعة أيام ثم تجف ، ويحدث ذلك بصفة مستمرة فى النهاية الخلفية للمنطقة وتتكون شعيرات فى الناحية الأمامية لتعويض الشعيرات القديمة الذاوية . فعمليـة الامتصاص مقصورة إذن على منطقة الشعيرات ، وتشترك خلايا الطبقة الوبرية التى لم تتسوبر بعد فى تلك المنطقة بنصيب فى هذه العملية. بيد أن ما تمتصه قليل لصغر سطحها الملامس للتربة ، اذا قورن بما تمتصه الشعيرات بسطحها الكبير .

(شكل ١١)

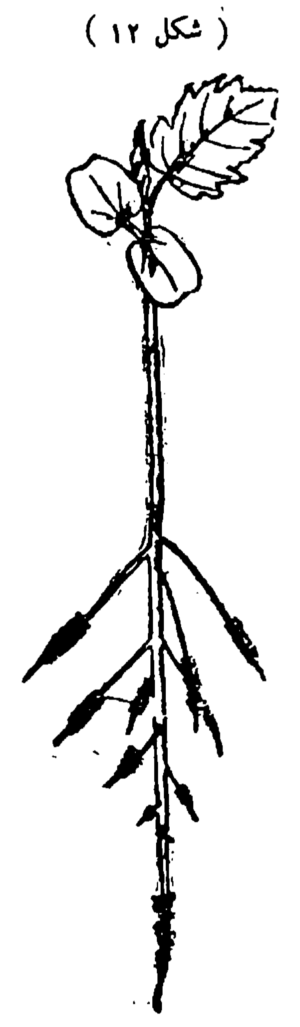
تجربة لتحديد منطقة الاستطالة فى جذير الفول ٧ (أ) البادرة عند بدء التجربة ، (ب) البادرة فى نهاية التجربة .

وتوجد منطقة الإمتصاص فى الجذر الأصلى والجذور الجانبية على السواء (شكل ١٢) ، ولذلك فباستمرار النمو وبقاء الشعيرات على بعد ثابت من القمة النامية يستمر انتقال منطقة الإمتصاص بأكملها إلى أرجاء جديدة من التربة .

ثم تأتى منطقة جرداء خلف منطقة الامتصاص ، ومن خلفها منطقة الجـــذور الجانبية (Zone of lateral roots) ، وتخرج الأخيرة عادة من الأنسجة الداخلية للجذر الأصلى ، كما يتضح ذلك من قطاع طولى منصف. ومما تجدر ملاحظته أن أصغر الجذور الجانبية أقربها إلى القمة (شكل ١٢) ، وأن تلك الجذور لا تتفرع من الجذر الابتدائى وحده ، ولكن من فروعه أيضاً .

وتتكرر هـــذه المناطق جميعها : القلنسوة والقمة النامية ومنطقتا الاستطــــالة والشعيرات والمنطقة الجرداء ومنطقة الجذور الثانوية ؛ بالترتيب المتقدم فى جميع فروع المجموع الجذرى ، من الجـذر الابتدائى إلى أدق الجذيرات .

(شكل ١٢)



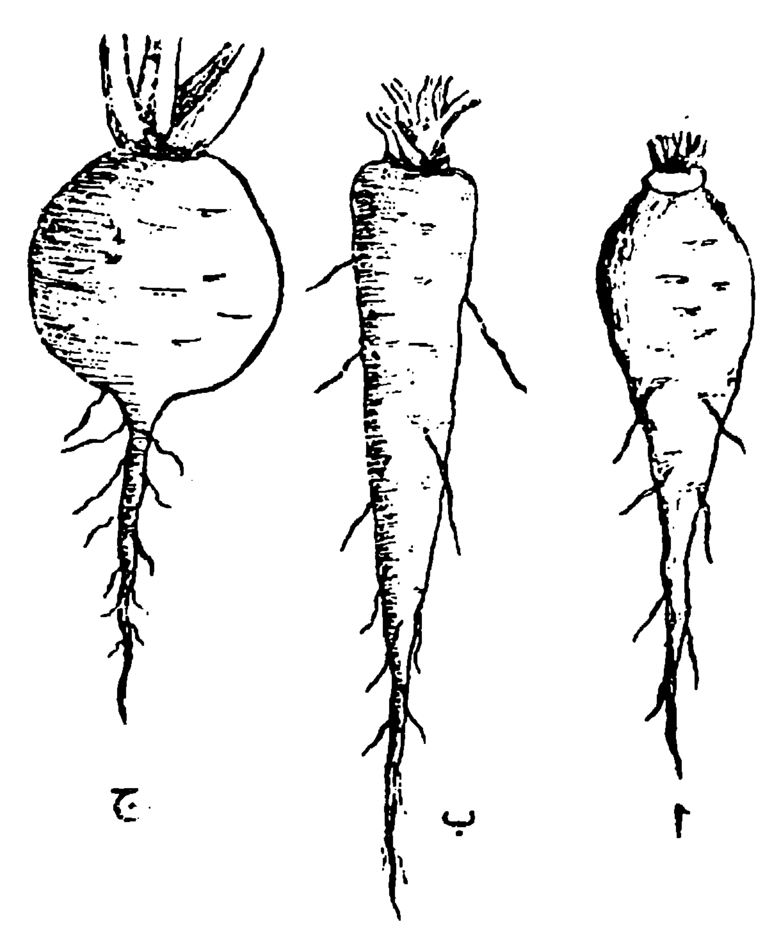
مناطق الجذر فى بادرة نبات زهرى ، يخرج من الجذر الأصلى عدد من الجذر الجانبية التى تظهر عليها الشعيرات الجذرية بالقرب من القمة

الجذور الوتدية

تنقسم الجـــــذور إلى وتدية (Tap roots) وعرضية (Adven- titjous roots) . وينشأ المجموع الجذرى الوتدى عادة من الجذر ، ويتميز بمحور رئيسى يعرف بالجذر الابتـــدائى (Primary root) ، تخرج منه جذور جانبية وجذيرات أقل منه شأناً . وهذا النوع من المجموع الجذرى هو السائد بين نباتات ذوات الفلقتين ، كالقطن والخروع والملوخية .

وفى بعض النباتات ذات المجموع الجذرى الوتدى يختزن الغذاء فى الجذر الإبتدائى فيتشحم وينتفخ ، ويتخذ أشكالا مختلفة (شكل ١٣) ، فيكون تارة مغزلى الشكل (Fusiform) كما فى الفجل ، وتارة مخروطى الشكل (Conical) كما فى الجزر ، وأحياناً متكوراً أو لفتياً (Napiform) كما فى اللفت .

(شكل ١٣)



أنواع الجذور الوتدية المختزنة: (ا) جذر الفجل ، (ب) جذر الجزر ، (ج) جذر اللفت

الجذور العرضية

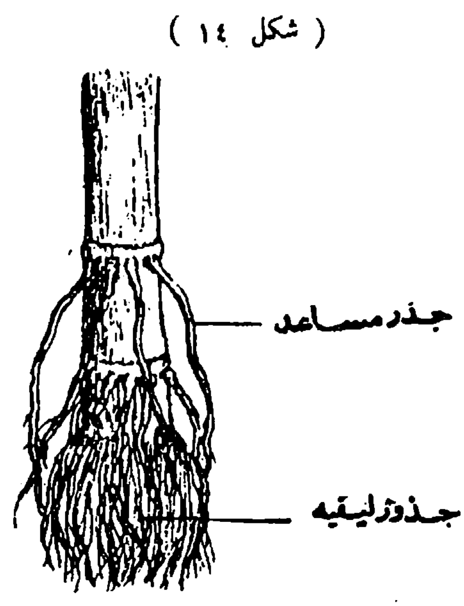
الجذور العرضية هى التى لا تنشأ من الجذير وفروعه ، ولو أن لبعض نواعها أصلا فى الجنين . كالجذور العرضية فى الذرة والقمح والشعير ، وما إليها ، حيث تنشأ من قاعدة الساق الجنينية . بيد أن غالبية الأنواع تتكون على أعضاء بالغة ، كالأجزاء الأرضية من العقل التى تستعمل فى

التكاثر الخضرى ، والعقل كما هو معروف قطع من الساق تحمل براعم . وتخرج أيضاً من قواعد السوق الهوائية ، ومن أجزائها العليا أحياناً ، كما أنها تتكون على السوق الأرضية بأنواعها ، وعلى الأوراق فى بعض الأحيان . وقد تتحور الجذور العرضية فى بعض النباتات لتؤدى أغراضاً خاصة .

وأهم أنواع الجذور العرضية هى :

١ — **الجذور الليفية** (Fibrous roots) — وتعرف أحيانا بالجذور الخيطية — لأنها رفيعة كالخيوط ، وتكثر فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة كالذرة والقمح والنخيل (شكل ٣٥) ، وتنشأ مبكرة أحياناً لتحل محل الجذر الابتدائى ، الذى يتوقف عن النمو وهو صغير . كما تتكون أيضاً على السوق الأرضية ، كالأبصال والريزومات وما إليها ، وعلى السوق الهوائية المدادة والجارية كسوق النعناع والشليك .

(شكل ١٤)

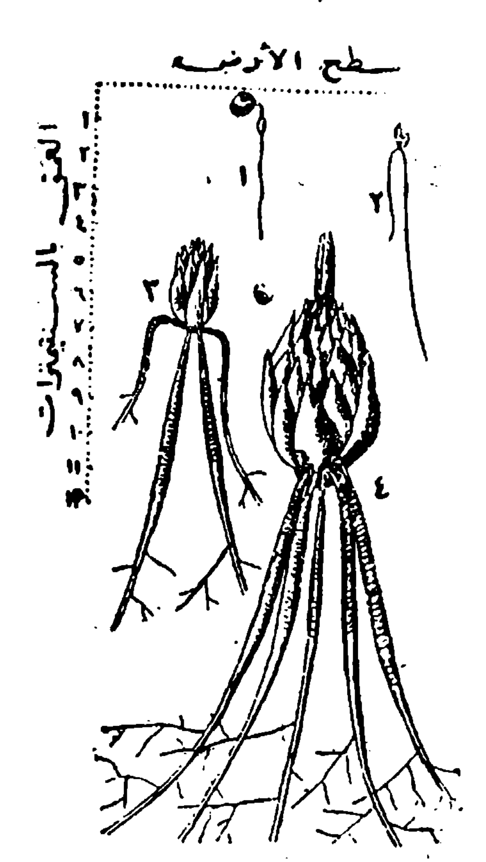


الجذور المساعدة لنبات الذرة

٢— **الجذور المساعدة** (Prop roots) : وتخرج من العقد السفلى القريبة من سطح الأرض ، على سيقان بعض النباتات القائمة الرفيعة غير المتفرعة كسيقان الذرة وقصب السكر (شكل ١٤) . وتتجه هذه الجذور مائلة إلى أسفل ، حتى إذ بلغت سطح الأرض اخترقته ، وتفرعت فى باطن الأرض وانتشرت كما تنتشر الجذور العادية ، فهى لذلك تساعد على تدعيم النبات وتثبيته فى الأرض ، وحفظه قائماً برغم العواصف وغيرها من المؤثرات الجوية المختلفة ، كما أن أجزاءها الأرضية تقوم أيضاً بوظيفة الامتصاص .

٣ — الجذور الشادة (Contractile roots) : وهى جذور متقلصة ، توجد فى بعض أنواع النباتات ، فى أسفل الكورمات والأبصال . وتستطيع بتقلصها أن تشد النبات إلى أسفل ، فتهبط بالكورمة أو البصلة إلى المستوى الطبيعى الملائم ، إن كانت البذور قد غرست فى مستوى مرتفع قريب من سطح الأرض. وبفضل هذه الجذور تظل الساق الأرضية المختزنة دائماً على بعد ملائم من سطح الأرض (شكل ١٥) يزيد فى تدعيمها وتأمين أجزائها الهوائية ضد عوادى الرياح .

(شكل ١٥)



الجذور الشادة لنبات الزنبق (Lilium martagon) فى مختلف مراحل تكوينها ، ويلاحظ اتصالها بقاعدة البصلة وشدها لها شدا هبط بمستواها فى النبات البالغ كثيرا عن المستوى الذى زرعت عنده البذور بالقرب من سطح الأرض

٤ — الجذور الهوائية (Aerial roots) : وهى جذور تمتد فى الهواء وتستطيع أن تمتص منه بخار الماء قبل أن تبلغ سطح الأرض ، **ومن أمثلتها جذور التين البنغالى** (**Ficus bengalensis**) ، وجذور الأراشيد (Orchids) تعيش معلقة على أفرع الأشجار العالية بالغابات ، وتغلف الجذور الهوائية لهذه الأراشيد بنسيج خاص إبجروسكوبى ، وظيفته امتصاص البخار من الهواء المحيط به .

٥ — الجذور الدعامية (Pillar roots) : وتوجد فى بعض الأشجار الضخمة كأشجار التين البنغالى سالفة الذكر ، وتنشأ هذه الجذور هوائية فى أول الأمر ، ثم تتدلى حتى تبلغ الأرض فتخترقها وتتفرع فيها وتنتشر ، وتتغلظ أجزاء هذه الجذور التى فوق الأرض وتتخشب ، فتعمل

بذلك على حمل الأفرع الهوائية . وفى الأشجار المسنة يوجد عدد كبير من هذه الدعائم الجذرية حول جذع الشجرة ، تلتحم أحياناً مع الجذع ، ومع بعضها البعض فتبدو كأنها من بعض أجزاء الجذع نفسه .

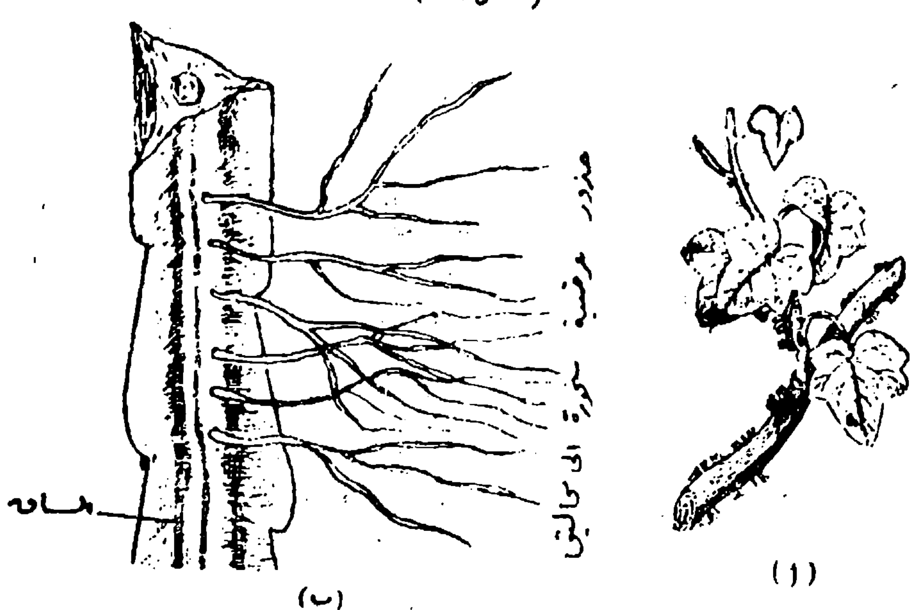
٦ — الجذور التنفسية (Respiratory roots) : توجد هذه الجذور فى النباتات التى تعيش فى مستنقعات طينية رخوة ، حيث التربة رديئة التهوية ومشبعة بالماء وغنية بالبقايا النباتية المتحللة . فى مثل هذه التربة ترتفع نسبة ثانى أكسيد الكربون الناشئ عن تحلل المواد العضوية ، ولا تجد جذور النباتات الراقية كفايتها من الأكسيجين اللازم لتنفسها . ومن أمثلة هذه النباتات نبات « ابن سينا » أو « الشورة » (**Avicennia marina**) ، وهو شجيرات تعيش فى بعض جزر البحر الأحمر قرب الغردقة ، وتخرج من أجزاء النبات السفلى — المغمورة فى الطين — جذور عرضية تنفسية تنبثق من جذور أفقية تمتد مسافات طويلة تحت سطح الأرض مباشرة ، وتتجه إلى أعلى بدل اتجاهها إلى أسفل ، وتحتوى أنسجتها الداخلية فراغات هوائية واسعة ، كما تنتشر على سطحها عديسات كثيرة ، وظيفتها توصيل الهواء الجوى بالفراغات الهوائية التى تتخلل أنسجة الجذور الداخلية ، وبذلك يستطيع الجذر أن يتنفس الهواء الجوى مباشرة .

والتربة الطينية فى هذه المستنقعات سائبة ، يغوص فيها بكل جسمه من يسوقه سوء طالعه إلى اقتحامها ، ثم تثقل عليه حتى لا يستطيع منها فكاكاً . ولهذا فقد عرفت تلك البيئة النباتية منذ زمن طويل باسم مقابر الإنسان (**Mangroves**) ، وهى منتشرة فى كثير من بقاع العالم ، وكم أودت بحياة الكثيرين من الرحالة .

٧ — الجذور التسلقية أو المعاليق الجذرية : (Climbing roots or root tendrils)

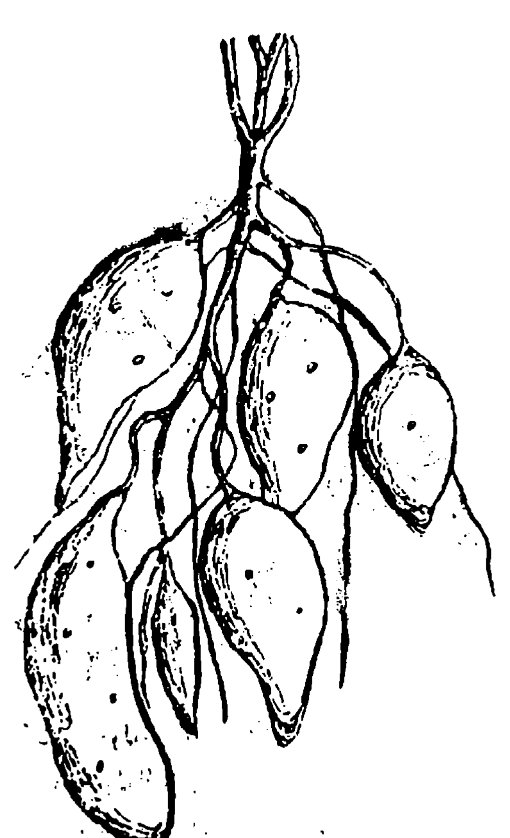
وهى جذور عرضية ، تخرج من سيقان بعض النباتات الملتفة ، مثل نبات حبل المساكين (**Hedera helix**) (شكل ١٦ ا) أو المتسلقة مثل نبات الشمع (**Cereus**) (شكل ١٦ب) ، وهو أحد نباتات الزينة المتشحمة . تخترق هذه الجذور التسلقية الدعامة أو الحائط فتعمل بذلك على تثبيت السيقان بها ، وبذلك يستمر صعود النبات إلى أعلى . والملاحظ عادة أن هذه الجذور التسلقية تخرج من جانب الساق المواجه للدعامة .

(شكل ١٦)



الجذور المتسلقة لنبات حبل المساكين (ا) ونبات الشمع (ب)

(شكل ١٧)



الجذور الدرنية لنبات البطاطا

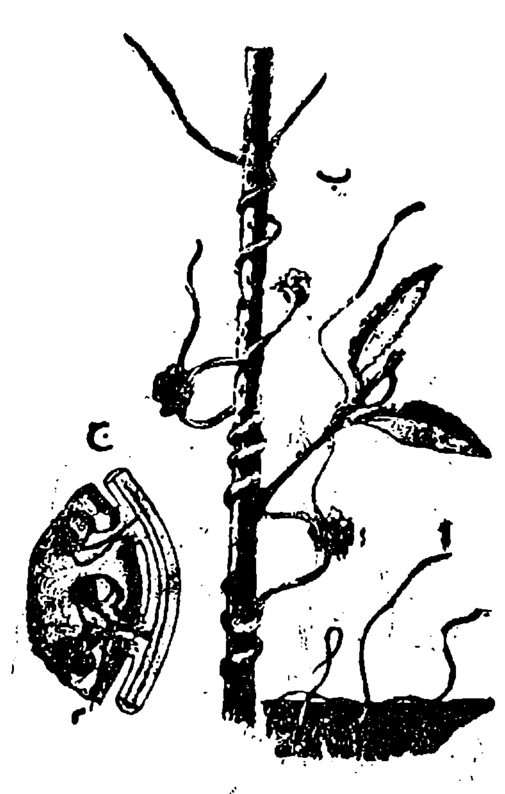
٨ — الجذور الدرنية

(Tuberous roots) : وهى جذور عرضية متشحمة ، تختزن فيها المواد الغذائية التى يعتمد عليها النبات فى بعض أدوار حياته ، ومن أمثلتها درنات البطاطا (Ipomoea officinalis) (شكل ١٧) ودرنات كشك الماز (Asparagus officinalis) ، والداليا (Dahlia variabilis)، والأصل فى المجموع الجذرى لكثير من هذه النباتات أنه عرضى ليفى، تشحمت بعض جذوره فى أجزاء منها مكونة هذه الدرنات ومختزنة فيها المواد الغذائية، وتقوم الجذور

الدرنية أحياناً – كما فى البطاطا – بوظيفة التكاثر الخضرى ، فتنبت إذا زرعت ، معتمدة على الغذاء المدخر ، لتعطى نباتات جديدة .

٩ – **الممصات** (Haustoria) : وهى جذور تخرج من سيقان وجذور بعض النباتات المتطفلة كالحامول (Cuscuta) ، والهالوك (Orobanche) (شكلا ١٨ و ١٩) وتخترق أنسجة العائل حتى تبلغ الحزم الوعائية ، فتمتص منها الماء والغذاء المجهز ، كما تمتص أيضاً المادة الحية من خلايا الأنسجة الأخرى فتنقلها إلى بقية أجزاء النبات المتطفل الذى يتغذى عليها ويبادر إلى إنتاج أزهاره وثماره ، ويتطفل الحامول على سيقان البرسيم وغيره من النباتات ، كما يتطفل الهالوك على جذر الفول

(شكل ١٨)



نبات الحامول: (ا) بادرات الحامول ، (ب) نبات الحامول المتطفل على ساق البرسيم ، (ج) قطاع مستعرض مار بساق الحامول وساق العائل ، (م) ممص يخرج من ساق الحامول ويخترق العائل ليتصل بأوعية الخشب واللحاء.

(شكل ١٩)



نبات هالوك وهو متطفل على الفول ، ونرى جذور الهالوك وهى تحيط بجذور الفول ذوات العقد البكتيرية

الباب الخامس

الساق

الساق هى المحور الرئيسى للمجموع الخضرى ، وتنشأ عادة من الريشة ، إذ بإستمرار نمو البادرة تتحول الريشة إلى مجموع خضرى يعرف محوره بالساق .

وتحمل الساق زوائد منبسطة خضراء هى الأوراق ، ويسمى الموضع الذى تخرج منه الورقة عقدة (Node) ، كما يعرف الجزء الذى يقع بين عقدتين متتاليتين بالسلامى (Internode) .

البراعم

يوجد برعم فى إبط كل ورقة ، يعرف بالبرعم الإبطى أو الجانبى (Axillary or lateral bud) ، كما يوجد برعم فى طرف الساق يعرف بالبرعم الطرفى أو القمى (Terminal or apical bud) . ويؤدى نشاط البرعم الطرفى إلى زيادة موسمية فى طول الساق الأصلية ، أما نشاط البرعم الإبطى فيؤدى إلى تكوين فرع جانبى ، وقد يكون ذلك الفرع نورة أو زهرة ، كما أن البرعم الطرفى قد يعطى هو الآخر نورة أو زهرة فى بعض النباتات ، بعد فترة من النمو الخضرى .

(شكل ٢٠)



نصف كرنبة وقد قطعت قطعا طوليا منصفا ونظر إليها من السطح المقطوع .

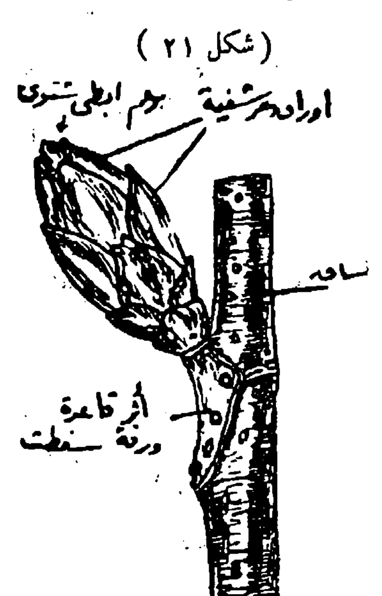
ويمثل الكرنب (شكل ٢٠) برعماً ضخماً ، تجعدت فيه الأوراق البرعمية الصغيرة والتفت حول بعضها البعض لفات عديدة ، مغلفة طرف الساق. ويلاحظ وجود براعم إبطية فى آباط الأوراق البرعمية الملتفة . أما الكرنبة نفسها فتمثل البرعم الطرفى للنبات .

ويتكون كل برعم من منطقة نمو إنشائية ، تحميها وتغلفها أوراق صغيرة برعمية ، وهناك نوعان من البراعم :

١ — **براعم صيفية** (Summer bunds) : أوراقها البرعمية من نوع واحد ، وكلها خوصية خضراء ، ولكنها صغيرة السن والحجم وتغلف القيمة النامية تغليفاً غير محكم ، لا يمنع إتصالها بالهواء الخارجي وتأثرها بالمؤثرات الجوية إلى حد ما . وتنمو هذه الأوراق الصغيرة بنمو البرعم لتعطى الأوراق البالغة الخضراء . ومن أمثلة البراعم الصيفية براعم النباتات دائمة الخضرة ، كالدورانتا (**Duranta**) والياسمين الزفر (**Clerodendron**) . وهما من نباتات الأسوار .

٢ — **براعم شتوية** (Winter buds) : وتعرف أيضاً بالبراعم الحرشفية (Scaly buds) ، وتتكون فى فصل الشتاء فى بعض النباتات ، كالتوت (**Morus**) والحور (**Populus**) وغيرهما من الأشجار التى تنفض أوراقها فى الخريف والشتاء (شكل ٢١) لرداءة الجو ، وتظل براعمها كامنة فى ذلك الوقت من العام . وتحمل البراعم الشتوية نوعين من الأوراق : أوراقاً برعمية خضراء عادية تلتف حول القمة النامية التفافاً محكماً ، وأوراقاً حرشفية سميكة تغطى هذه الأوراق الداخلية الرقيقة ، وتزيد فى وقاية البرعم من العوامل الجوية ، كالبرد والصقيع والجفاف ، وتفرز الأوراق البرعمية أحياناً أصماغاً ومواد راتنجية ، وظيفتها لصق الحراشيف بعضها ببعض. مما يزيد فى إحكام الغطاء حول القمة النامية الرقيقة . وعندما ينقضى فصل الشتاء ويحل الربيع بدفئه ، تتساقط الحراشيف الخارجية وتتفتح البراعم ، وتظهر الأوراق الداخلية الخضراء ، وتنمو البراعم بسرعة لتعطى فروعاً جديدة مورقة .

(شكل ٢١)



أحد البراعم الشتوية لنبات الحور.

والبراعم الإبطية كثيراً ماتظل كامنه ، مع إحتفاظها بالقدرة على النمو إذا دعت الحاجة وتوافرت الموارد الغذائية اللازمة لإنبثاقها ، كما يحدث عادة عند تقليم نباتات الأسوار إذ أن

(شكل ٢٢)



براعم عرضية على ورقة البيجونيا

التقليم ينطوى على قص أطراف الفروع وإزالة براعمها الطرفية ، فيؤدى ذلك إلى نشاط البراعم الإبطية ونموها لتحل محل الأطراف المقطوعة ، معتمدة على الموارد الغذائية التى كانت تغذى تلك الأطراف .

وفى بعض النباتات يوجد أكثر من برعم واحد فى إبط الورقة ، ويسمى أكبر هذه البراعم « البرعم الأساسى » (Principal bud) ، أما بقية البراعم فتعرف بالبراعم الإضافية أو المساعدة (Accessory buds) .

وقد تتكون البراعم أحياناً فى غير مواضعها العادية ، وتعرف فى هذه الحالة بالبراعم العرضية (Adventitious buds) ، ومن أمثلتها البراعم التى تتكون على أوراق البيجونيا (**Begonia**) — شكل ٢٢ — والبريوفيللم (**Bryophyllum**) وعلى درنات البطاطا الجذرية .

السيقان العشبية والخشبية :

تعتبر سيقان الحشائش والأعشاب الصغيرة — كالفول والملوخية والبرسيم وما إليها — سيقاناً عشبية (Herbaceous) ، لأنها غضة خضراء ، لا تحتوى إلا على نسبة ضئيلة من الأنسجة الخشبية والعناصر الملجننة ، كما أنها طرية قليلة الصلابة . أما سيقان الأشجار والشجيرات فهى سميكة صلبة متخشبة ، تحتوى على نسبة كبيرة من العناصر الملجننة ، وسطوحها باهتة

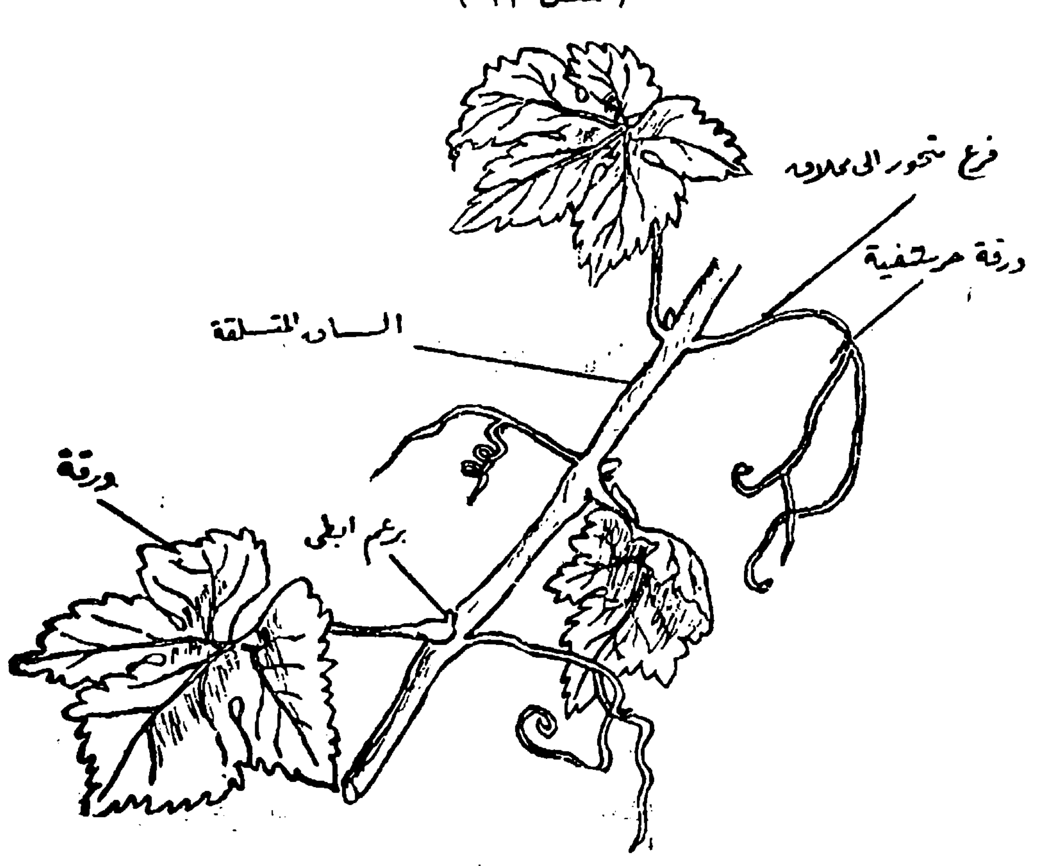
أو داكنة غير مخضرة ، متشققة لوجود القلف والفلين ، ولذلك فإن هذه السيقان تعرف بالسيقان الخشبية (Woody stems) .

السيقان القائمة والضعيفة :

من السيقان ماهو قائم ومنها ماهو ضعيف. فالساق القائمة (Erect stem) . تنمو رأسياً إلى أعلى ، حاملة الأوراق الخضراء نحو الضوء والهواء ، حيث تستطيع أن تؤدى وظيفة التمثيل على أكمل وجه ، كما تحمل الأزهار عالية فى الهواء بعيدة عن سطح الأرض ، فتضعها بذلك فى وضع يلائم التلقيح الهوائى والحشرى ، وكذلك تحمل الثمار لتعرضها لمختلف عوامل الإنتشار .

أما السيقان الضعيفة (Weak stems) ، فقد اختصت بها بعض أنواع النباتات . وهى لا تقوى بنفسها على النمو فى وضع قائم ، بل تحتاج إلى سند أو دعامة تعتمد عليها فى الصعود إلى أعلى ، مبتعدة عن سطح الأرض . وبعضها تمتد أفقياً وترتكز على الأرض .

(شكل ٢٣)



فرع من نبات العنب يبين التفرع كاذب المحور والسيقان المتسلقة، ويلاحظ أن البراعم الطرفية للفروع تتحور الى معاليق التسلق .

(شكل ٢٤)

ساق العليق الملتفة

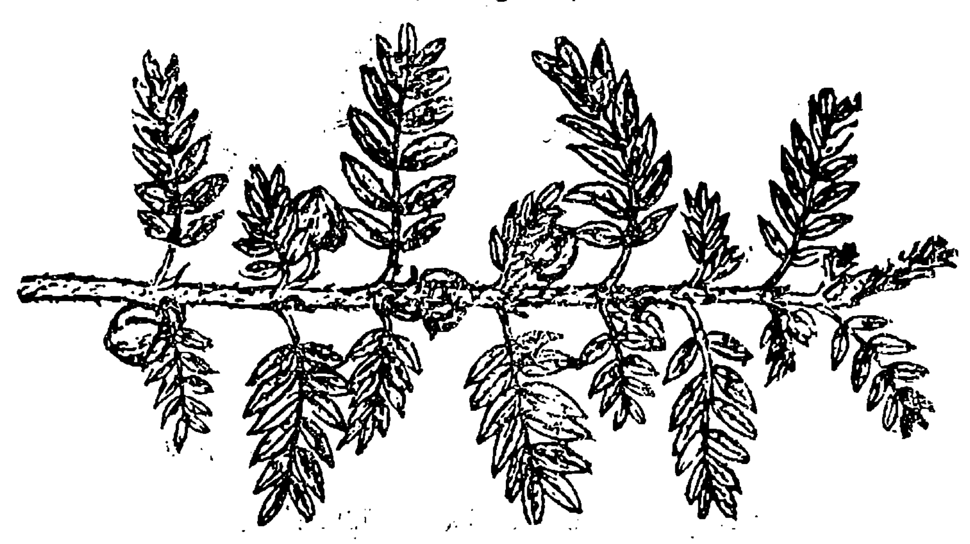
وهناك ثلاثة أنواع من السيقان الضعيفة :

(ا) السيقان المتسلقة : (Climbing stems) :
وهي تكون أعضاء خاصة التسلق – تعرف بالمعاليق (Tendrils) – تربطها بالدعامة ، وبذلك تستطيع الصعود إلى أعلى. وقد تكون هذه المعاليق فروعاً أو أوراقاً أو وريقات أو أذينات متحورة . ومن أمثلة السيقان المتسلقة ساق العنب (**Vitis**) شكل ٢٣ .

(ب) السيقان الملتفة : (Twining stems) :
وهي لا تكون معاليق ولكن تلتف الساق نفسها حلزونياً كالحبل حول الدعامة ، وبذلك تحمل المجموع الخضرى إلى أعلى ، فتتعرض الأوراق والأزهار والثمار لقدر أوفر من الضوء والهواء . وقد تكون الدعائم التي تلتفت حولها السيقان قوائم صناعية أو نباتات قائمة تنمو بجوار النباتات الضعيفة : ومن أمثلة السيقان الملتفة ساق العليق (**Convolvulus**) شكل ٢٤ .

(ج) السيقان الزاحفة (Prostrate stems) : وهي تنمو أفقياً فوق سطح

(شكل ٢٥)

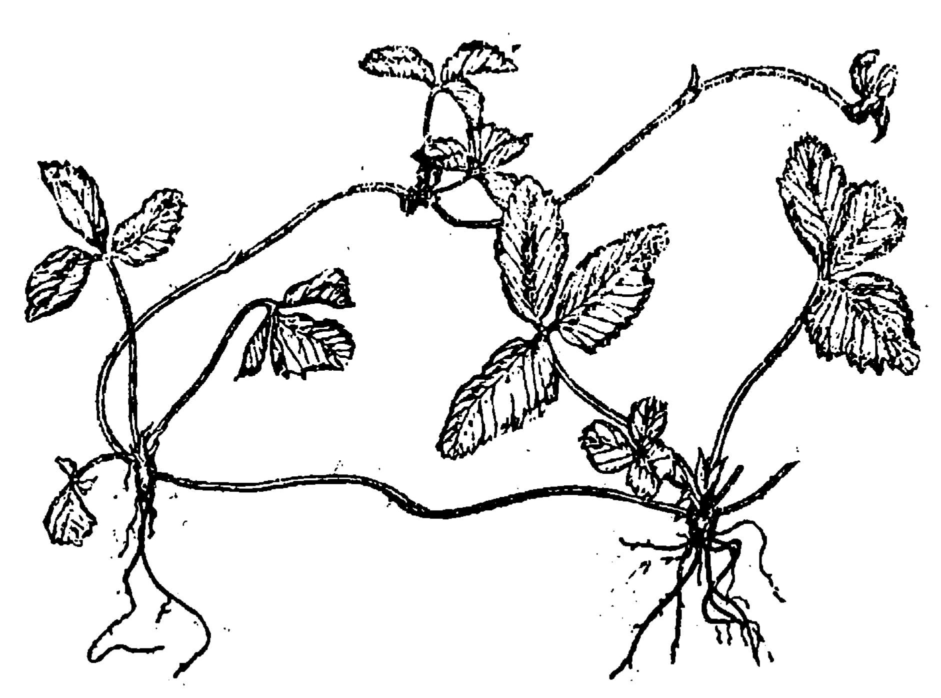


جزء من المجموع الخضرى لنبات « أم جريسة » يمثل السيقان الزاحفة ذات التفرع كاذب المحور .

الأرض ، فتغطى مساحة كبيرة ، وتعرض جميع أعضاء مجموعها الخضرى للضوء والهواء ، ومن أمثلة هذه السيقان معظم نباتات الفصيلة القرعية ، كالقرع والخيار والحنظل . وكذلك البطيخ والشمام . ومن أمثلتها أيضاً نبات أم جريسة (Tribulus alatus) — شكل ٢٥ — وهو منتشر فى الصحارى القريبة من القاهرة ، وفى غيرها من الصحارى المصرية .

ويلاحظ فى نباتات الفصيلة القرعية ونبات أم جريسة أن السيقان الممتدة على سطح الأرض لا تحمل جذوراً عرضية على الإطلاق ، بيد أن هناك أنواعاً من هذه النباتات الضعيفة تكون جذوراً عرضية عند العقد ، وفروعاً هوائية مقابل تلك الجذور ، وتمتد سيقانها فى وضع أفقى فوق سطح الأرض . وتعرف أمثال هذه السيقان بالسيقان الجارية (Runners) ، ومن أمثلتها سيقان الشليك (Fragaria) شكل ٢٦ .

(شكل ٢٦)



ساق الشليك الجارية

محيط الساق :

معظم السيقان أسطوانية الشكل ، ولذلك تبدو مستديرة فى القطاع المستعرض ، ومن أمثلتها ساق الملوخية وساق البرسيم . بيد أن هناك نباتات

ذات سيقان مضلعة ، كالفول واللوف والقرع ، تبدو فى القطاع المستعرض عديدة الزوايا . وبالإضافة إلى هذين النوعين توجد سيقان مفلطحة منبسطة ، لها سطحان علوى وسفلى ، تشبه الأوراق الخضراء فى الشكل والوظيفة ، ومن أمثلتها ساق السفندر (Ruscus) (شكل ٣٠ : ا) .

السيقان المصمتة والجوفاء :

معظم السيقان مصمته (Solid) ، بوسطها نخاع يملؤها ، وليس فى مركزها أى تجويف ، ومن أمثلتها سيقان الدورانتا والقطن والملوخية . بيد أن هناك أنواعاً من النباتات العشبية — كالفول والقمح والبرسيم — سيقانها جوفاء (Hollow) وتشغل الأنسجة منطقة سطحية منها ، ويحل بوسطها فراغ مركزى واسع محل النخاع .

سطح الساق :

للساق سطح أملس فى كثير من النباتات ، وتسمى فى هذه الحالة ساقاً ملمساء (Glabrous) ، وفى بعض النباتات يتغطى سطحها بشعيرات قليلة أو غزيرة ، وتوصف إذ ذاك بأنها شعراء (Hairy) . ومن أمثلتها عباد الشمس والقرع . وهناك نوع ثالث من السيقان — كساق الورد — تحمل على سطحها زوائد شوكية (Prickles) خارجية الأصل ، أى أنها تنشأ من الطبقات السطحية ، وتوصف هذه السيقان بأنها شوكية (Prickly).

السيقان الطويلة والقزمية :

الأصل فى الساق أن تكون طويلة ، أى متميزة إلى عقد وسلاميات واضحة ، وذلك هو شأنها فى معظم النباتات الراقية . بيد أن هناك نباتات سيقانها قزمية (Dwarf) ، تقصر فيها السلاميات كثيراً وتتقارب العقد ، حتى لا تكاد تستبين ، وفى هذه السيقان القزمية تبدو جميع الأوراق كأنما خرجت من موضع واحد على الساق ، ومن أمثلتها الساق القرصية فى الفجل والجزر والبصل . ويلاحظ فى النبات الأخير أن الأوراق تخرج من مواضع متقاربة غاية التقارب على الساق القرصية .

وفى نبات الصنوبر (وسيأتى وصفه بالتفصيل فى باب لاحق) يوجد نوعان من الفروع . فروع طويلة وأخرى قزمية ، وتخرج الأخيرة من آباط الأوراق الحرشفية على الفروع الطويلة ، وتمثل زوائد جانبية لتلك الفروع . ويتكون الفرع القزمى من ساق قصيرة ، مغطاة بأوراق حرشفية صغيرة بنية ، وتنتهى بورقتين خضراوين أو أكثر من ذلك فى الأنواع المختلفة .

وفى نبات العوسج (Lycium) ، توجد فروع شوكية مدببة الأطراف ، يحمل كل منهما عدداً من الفروع القزمية ، ويتكون كل فرع قزمى من ساق قصيرة لا تكاد ترى ، تحمل بضعة أوراق خضراء كبيرة الحجم نسبياً ، تبدو كأنما خرجت جميعاً من موضع واحد على سطح الفرع الشوكى ، وينتهى الفرع القزمى عادة ببرعم طرفى دقيق .

وفى أنواع السنط (Acacia) تحمل الفروع الرئيسية أوراقاً خضراء مركبة ، أذيناتها متحورة إلى أشواك ، وفى آباطها فروع قزمية ، تبدو كمجموعات من الأوراق الريشية ، مرتبة على ساق قصيرة لا تكاد ترى بوضوح ، وتنتهى تلك الفروع ببرعم طرفى دقيق .

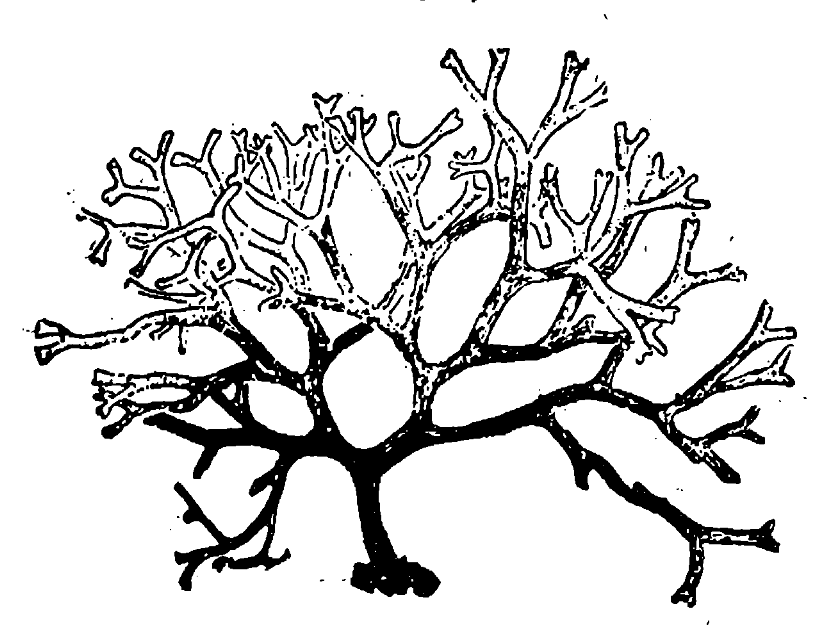
تفرع الساق

يندر أن يكون للمجموع الخضرى محور واحد غير متفرع ، كما فى النخيل والذرة والقصب . والأغلب الأعم أن يتفرع النبات ليشغل حيزاً كبيراً من الفراغ الجوى ، ويعرض أكبر مساحة ممكنة من سطوح أوراقه وأزهاره وثماره للضوء والهواء ، وبذلك تستطيع هذه الأعضاء أن تؤدى وظائفها على خير وجه وأكمله .

والتفرع إما قمى (Apical) أو جانبى (Lateral) ، فأما التفرع القمى ففيه تنقسم القمة النامية إلى قسمين متساويين ، يعطى كل منهما فرعاً مستقلاً ، ثم تعود القمة فى كل فرع إلى الإنقسام مرة أخرى بنفس الطريقة ، ويتكرر ذلك مرات عديدة فى حياة النبات ، ويعرف ذلك بالتفرع ثنائى

الشعب (Dichotomous hranching)، وهو أكثر إنتشاراً فى النباتات الأولية ـ كالطحالب البحرية -- منه فى النباتات الراقية . ومن أمثلته تفرع طحلبى دكتيوتا (Dictyota) — (شكل ٢٧) — وفيوكاس (Fucus) .

(شكل ٢٧)



طحلب دكتيوتا (Dictyota) ويشاهد به تفرع الثالوس تفرعا ثنائياً ثنائى الشعب .

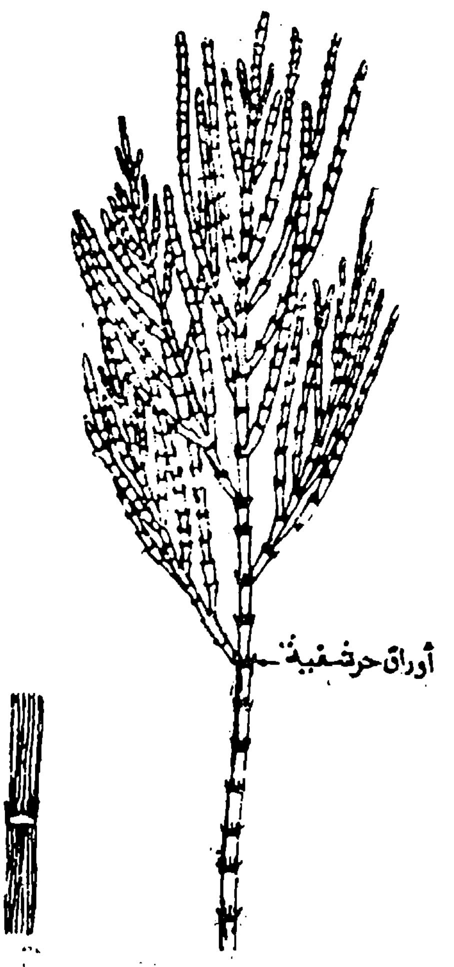
وأما التفرع الجانبى فهو الشائع فى النباتات الراقية ، وهو على نوعين :

١— **تفرع صادق المحور** (Monopodial branching) : كما فى نبات الكازوارينا (Casuarina) مثلا (شكل ٢٨) ، وفيه يستمر نمو البرعم الطرفى ونشاطه إلى أجل غير محدود ، ويضيف بإستمرار أجزاء جديدة إلى محور النبات ، وبذلك تكون جميع أجزاء المحور الرئيسى ذات أصل واحد ، لأنها نشأت من البرعم الطرفى الذى لا نحد نشاطه ، ويقال لمحور النبات فى مثل هذه الحالة إنه محور صادق . وتخرج الفروع الجانبية من هذا المحور فى آباط الأوراق ويكون أصغرها أقربها إلى القمة ، وتزداد فى الحجم والسن بالتدريج كلما بعدت عنها ، أى أنها تتعاقب على الساق تعاقباً قمياً (Acropetal succession) ، وذلك من بعض خصائص التفرع صادق المحور .

٢– تفرع كاذب المحور (Sympodial branching) : فيه ينشط البرعم الطرفى لفترة محدودة ثم يتحور إلى عضو مستديم فيقف نشاطه ، ويتمم المحور الأصلى عوضاً عنه فرع جانبى ، يمتد فى إتجاهه فترة من الزمن ، ثم يتحور برعمه الطرفى بدوره إلى عضو مستديم ، فيأتى فرع جانبى جديد ليكمل المحور ، وهكذا . وبذلك يتألف محور المجموع الخضرى من أجزاء ذات أصول مختلفة ، كل جزء منها يمثل فرعاً جانبياً خاصاً . أما الساق الأصلية فهى فى هذه الحالة محدودة النمو ، ينتهى نشاطها مبكراً بتحور البرعم الطرفى إلى عضو مستديم ، كمعلاق أو زهرة ، أو فرع هوائى فى حالة الريزومات .

ومن أمثلة التفرع كاذب المحور تفرع ساق العنب (شكل ٢٣) ، إذ أن برعمها الطرفى يتحور إلىمعلاق للتسلق ،ويتكون فرع جانبى فى إبط ورقة مقابلة للمعلاق ، وتمتد ساق ذلك الفرع فى إتجاه المحور الأصلى للنبات ، ويستمرنموه لمسافة عقدة واحدة فى أغلب الأحيان ، أو أكثر من ذلك فى النادر ، ثم يتحول برعمه الطرفى بدوره إلى معلاق . ويستمر ذلك طيلة فصل النمو . فيتكون محور النبات بذلك من عدد من الفروع الجانبية ، مرتبة فى صف واحد .

(شكل ٢٨)



فرع من نبات الكازوارينا يبين التفرع صادق المحور ، وعلى الجانب الأيسر يرى جزء مكبر الفرع لتظهر عليه مجموعة من الأوراق الحرشفية المحيطة عند العقدة ، تحد قواعدها لذلك الساق.

وفى نبات أم جريسة — كما فى (شكل ٢٥) — تمتد الساق أفقياً فوق

سطح الأرض ، ويتحور البرعم الطرفى إلى زهرة عندما يبلغ النبات سن الإزهار ، ويقف نمو المحور الأصلى عند هذا الحد ، ولكنه يحمل ورقتين مركبتين متقابلتين خلف الزهرة ، إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة ، وفى إبط كل ورقة برعم . فأما برعم الورقة الصغيرة فيعطى — إذا نبت — فرعاً جانبياً ، وأما برعم الورقة الكبيرة فيعطى فرعاً يمتد على إستقامة المحور الأصلى ويكمله ، ثم ينتهى ذلك الفرع بدوره بتكوين زهرة تتحول فيما بعد إلى ثمرة ، ويعطى ورقتين متقابلتين ، يكمل الفرع المتكون فى إبط كبراهما إمتداد المحور الأصلى ، ويستمر ذلك طول فصل النمو .

وهناك مثل ثالث هو ساق النجيل (**Cynodon dactylon**) — (شكل ٣٣) — وهو نبات معمر له ساق أرضية تعرف بالريزومة ، سنتحدث عنها فيما بعد . وتمتد هذه الريزومة أفقياً تحت سطح الأرض — على عمق غير بعيد — ويتحول برعمها الطرفى فى فصل الربيع إلى فرع هوائى ، ينثنى إلى أعلى ، ويظهر فى الهواء حاملا أوراق النبات الخضراء ، أما المحور الأصلى للريزومة فيكمله فرع جانبى يخرج من إبط ورقة حرشفية على الريزومة خلف القمة مباشرة ، ويستمر نمو هذا الجزء الجديد من الريزومة بعض الوقت ، ثم يتحول برعمه الطرفى إلى فرع هوائى جديد ، ويستمر ذلك طول فصل النمو ، وبذلك يتكون المحور الأصلى للريزومة من عدة أجزاء على إستقامة واحدة ، يمثل كل جزء منها فرعاً جانبياً مستقلا .

تحورات الساق

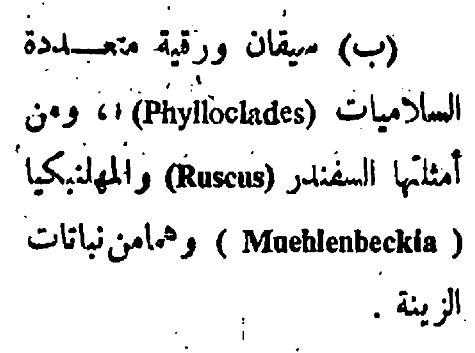
الأصل فى الساق أن تكون عضواً قائماً أسطوانياً ، يتجه فى الهواء إلى أعلى حاملا الأوراق والأزهار ، ومعرضاً إياها للضوء والهواء ، مما يمكنها من تأدية وظائفها على الوجه الأكمل . كذلك تؤدى الساق وظائف توصيل العصارة المجهزة من الأوراق إلى الجذور . والعصارة النيئة من الجذور إلى الأوراق .

بيد أن بعض السيقان تؤدى وظائف أخرى ، غير الوظائف السابقة ، فتتحور لهذا الغرض ، وتتخذ أشكالا تلائم الوظائف التى تؤديها .

وأهم التحورات المعروفة ما يأتى :

(١) السيقان الورقية : تتحور الساق إلى عضو مفلطح يقوم بوظيفة البناء الضوئى ، وذلك فى النباتات التى تحمل أوراقاً حرشفية أو جافة ، أو أوراقاً خضراء صغيرة الحجم لاتفى بحاجة النبات من الغذاء المجهز ، وهناك نوعان من هذه السيقان .

(ا) سيقان ورقية وحيدة السلامى (Cladodes) ، ومن أمثلتها كشك الماز (Asparagus) شكل ٢٩ .



(ب) سيقان ورقية متعددة السلاميات (Phylloclades) ، ومن أمثلتها السفندر (Ruscus) والمهلنبكيا (Muehlenbeckia) وهما من نباتات الزينة .



(شكل ٢٩)

جزء من المجموع الخضرى لنبات كشك الماز يبين سيقان ورقية وحيدة السلامى (Cladodes) ، تخرج فى مجموعات من آباط أوراق حرشفية دقيقة

أما السفندر (شكل ٣٠ : ١) فله نوعان من السيقان ، سيقان أسطوانية قائمة عادية ، وأخرى ورقية مفلطحة ـ هى السيقان المتحورة ـ وهى تشبه الأوراق تماماً فى الشكل واللون والوظيفة والوضع ، وتخرج على جوانب السيقان العادية من آباط أوراق حرشفية جافة ، صغيرة الحجم ، وتحمل فى وسط سطحها العلوى أوراقاً حرشفية صغيرة ، فى آباطها براعم زهرية تعطى أزهاراً صغيرة بيضاء . ويعتبر وجود هذه الأعضاء الورقية فى آباط الأوراق الحرشفية ـ وحملها أوراقاً حرشفية فى آباطها براعم ـ أدلة على أنها سيقان متحورة ، وليست أوراقاً خضراء كما يبدو من شكلها .

أما ساق المهلنبكيا (شكل ٣١) فهى أيضاً ساق ورقية مفلطحة ـ خضراء اللون ـ تؤدى وظيفة التمثيل ، ولكنها مستطيلة ومقسمة إلى عقد

(شكل ٣٠)

ب ا

سيقان ورقية عديدة السلاميات (Phylloclades) متحورة لغرض التمثيل: (ا) فرع من نبات السفندر ، (ب) فرع من نبات التين الشوكي،(ب . ز) برعم زهرى ، (و) ورقة، (و . ح) ورقة حرشفية

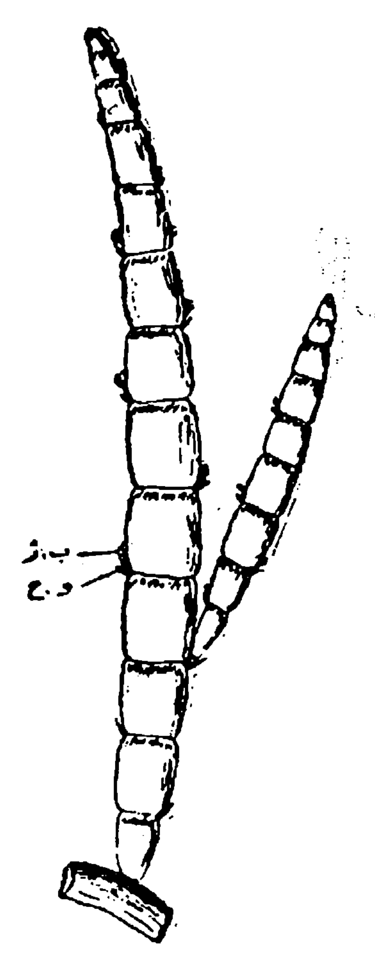
وسلاميات ، وتحمل عند العقد أوراقاً حرشفية متبادلة ، فى آباطها أزهار . وفى نهاية الساق المتحورة توجد قمة نامية ، كما يلاحظ التتابع القمى ، إذ أن السلاميات القريبة من القمة قصيرة ، ويزداد طولها بالتدريج كلما زاد بعدها عن طرف الساق . وكذلك تزداد درجة نمو الأزهار الإبطية كلما بعدت عن القمة .

أما فى نبات الأسبرجس (كشك الماز) فالفروع المتحورة ضيقة إبرية ، تخرج فى مجموعات على الساق الأصلية ، كل فرع فى إبط ورقة حرشفية جافة

٢ — السيقان العصيرية المفلطحة : تتحور الساق إلى عضو مفلطح عصيرى متشحم يختزن الماء فى أنسجته ، ويقوم بوظيفة البناء الضوئى ، كما فى نبات التين الشوكى (Opuntia) (شكل ٣٠ : ب) ، وتعتبر الأعضاء الشائكة العريضة التى يحملها النبات فروعاً متحورة ، تحمل فى صغرها أوراقاً

خضراء صغيرة ، لا تلبث أن تسقط بعد فترة وجيزة ، تاركة مكانها ندبة تدل على موضعها . وتوجد فى آباط الأوراق براعم محمولة على انتفاخات فى سطح الساق تعرف بالوسائد (Cushious) ، وتخرج من الوسائد أشواك صغيرة حادة يمكن اعتبارها أوراقاً متحورة . (شكل ٣١)

وتختزن الفروع المتحورة الماء بغزارة فى أنسجتها الداخلية ، ولذلك تتشحم وتصبح عصيرية ، ويعتمد النبات على الماء المدخر فى أنسجته أثناء فصل الجفاف ولذلك فقد عرف التين الشوكى باحتماله للجفاف وقدرته على استيطان الأماكن الجافة نسبياً .



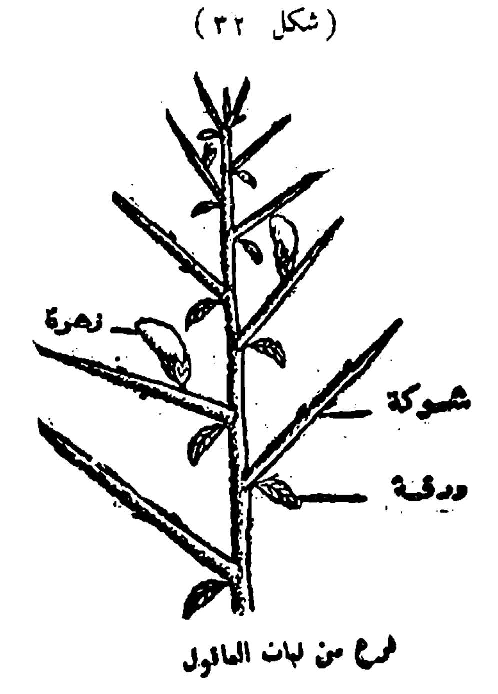
فرع من نبات للاهانبكيا
(ب . ز) برعم زهرى ،
(و . ح) ورقة حرشفية .

٣ – السيقان الشوكية (Spiny stems) :

تتحور السيقان أحياناً إلى أشواك مدببة ، مما ساعد على وقاية النباتات من حيوانات الرعى ، كما يؤدى إلى اختزال سطحها الناتج ، إذ أن هذا التحور يكون عادة مصحوبا باختزال الأوراق ، ويحدث هذا التحور بنوع خاص فى النباتات الصحراوية كنبات السلة (**Zilla**) مثلا. كما يحدث أيضاً فى نباتات أخرى كنبات العاقول (**Alhagi**) ، وهو نبات شوكى ينتشر بكثرة فى الأراضى المهملة القريبة من المزارع (شكل ٣٢) ، وتخرج أشواك العاقول عادة من آباط أوراق صغيرة خضراء سريعة التساقط ، وتحمل أحياناً أوراقاً دقيقة أو أزهاراً . أما البرعم الطرفى فيقف نشاطه ويتحور إلى سن مدبب ، وبالإضافة إلى اختزال السطح الناتج ، يفيد التحور إلى أشواك فى تقليل معدل النتح. إذ لوحظ فى نباتى السلة والعاقول أن معدل النتح من وحدة السطح أقل فى الأشواك منها فى الأوراق ، كما لوحظ أن نسبة عدد الأشواك إلى

الأوراق تزداد فى السلة كلما زاد جفاف الوسط الذى تعيش فيه ، كما يزداد أيضاً حجم الأشواك ويقل حجم الأوراق .

(شكل ٣٢)



فرع من نبات العاقول

٤ — المعاليق الساقية Stem tendtils : تتحور السيقان فى بعض النباتات المتسلقة كنباتى العنب والأنتيجونن Antigonon إلى معاليق للتسلق ، وتنتج البراعم الطرفية معاليق العنب فيكون ذلك إيذانا بانتهاء نشاطها ، أما معاليق الأنتيجونن فتنشأ من براعم إبطية .

٥ — السيقان تحت الأرضية : (Subterraneanstems) تعيش بعض أنواع السيقان تحت سطح الأرض لكى تتجنب التعرض للمؤثرات الجوية القاسية — من برد ورياح — أثناء فصل الشتاء ، وتحمل هذه السيقان الأرضية براعم وأوراقاً حرشفية ، وتظل براعمها كامنة طول فصل الشتاء تحميها الأوراق الحرشفية وتغطيها ، حتى إذا جاء الربيع ودفأ الجو ، دب فيها النشاط فنمت وأنتجت فروعاً هوائية ذات أوراق خضراء ، تقوم بوظيفة التمثيل ، وتنمو هذه الفروع الهوائية وتزدهر فى فصل الربيع والصيف . وقبل انتهاء فصل النشاط الخضرى يأخذ النبات فى تخزين المواد الغذائية الناتجة من عملية التمثيل فى أجزائه الأرضية ، لكى تتغذى عليها البراعم عند إنباتها فى الربيع التالى . بعد ذلك تذوى الفروع الهوائية وتجف ويدخل النبات فى دور السكون من جديد ، وبذلك يستطيع أن يعمر من عام إلى عام بوساطة براعمه الأرضية من ذلك يتضح أن أهم الفوائد التى تؤديها السيقان تحت الأرضية هى التعمير واختزان الغذاء العضوى والتكاثر الخضرى ، أى التكاثر بدون بذور ، وذلك لأن الساق تحت الأرضية إذا قسمت إلى قطع ، تحتوى كل قطعة منها على برعم أو أكثر من البراعم الكامنة ، مع قدر كاف من الغذاء

المدخر ، ثم زرعت تلك القطع فى ظروف ملائمة ، فإن كل قطعة منه تستطيع أن تنتج نباتاً جديداً .

وأهم السيقان الأرضية :

(ا) الريزومة (Rhizome) : وهى ساق تمتد أفقياً تحت سطح الأرض وتتفرع فى كل اتجاه ، وتنقسم إلى عقد وسلاميات . وتحمل عند العقد جذوراً عرضية ليفية ، كما تحمل أوراقاً حرشفية فى آباطها براعم . وتظل البراعم كامنة فى فصل الشتاء ولكنها تنبت فى الربيع لتعطى فروعاً هوائية خضراء ، وتتفرع الريزومات عادة تفرعاً كاذب المحور ، إذ تنثنى القمة النامية إلى أعلى ويتحور البرعم الطرفى إلى فرع هوائى يبرز فوق سطح الأرض ، ويستمر محور الريزومة فى النمو بوساطة برعم جانبى فى إبط ورقة حرشفية . تقع خلف البرعم الطرفى المتحور . ويمتد البرعم الجانبى على استقامة المحور الأصلى حتى يبدو وكأنه جزء متمم له ، ثم لايلبث برعمه الطرفى أن ينثنى إلى أعلى ، ويتحول بدوره إلى فرع هوائى ، وهكذا .

ومن أمثلة الريزومات النجيل (Cynodon) شكل ٣٣ ، والكانا (Canna) شكل ٣٤ ، البردى ، والسمار والغاب الرومى (Bamboo) . وبعض الريزومات رفيعة كريزومة النجيل ، تقل فيها كمية الغذاء المدخر ، وبعضها غليظة تختزن قدراً وافراً من المواد الغذائية ، كريزومات الكانا والبردى والسوسن (Iris) ، وتستطيع الريزومة إذا قطعت أجزاء كثيرة — يشمل كل منها براعم وجانباً من النسيج الغذائى — أن ينتج كل جزء إذا زرع نباتاً جديداً . وهذه هى طريقة التكاثر الخضرى المتبعة عادة فى إكثار هذه النباتات .

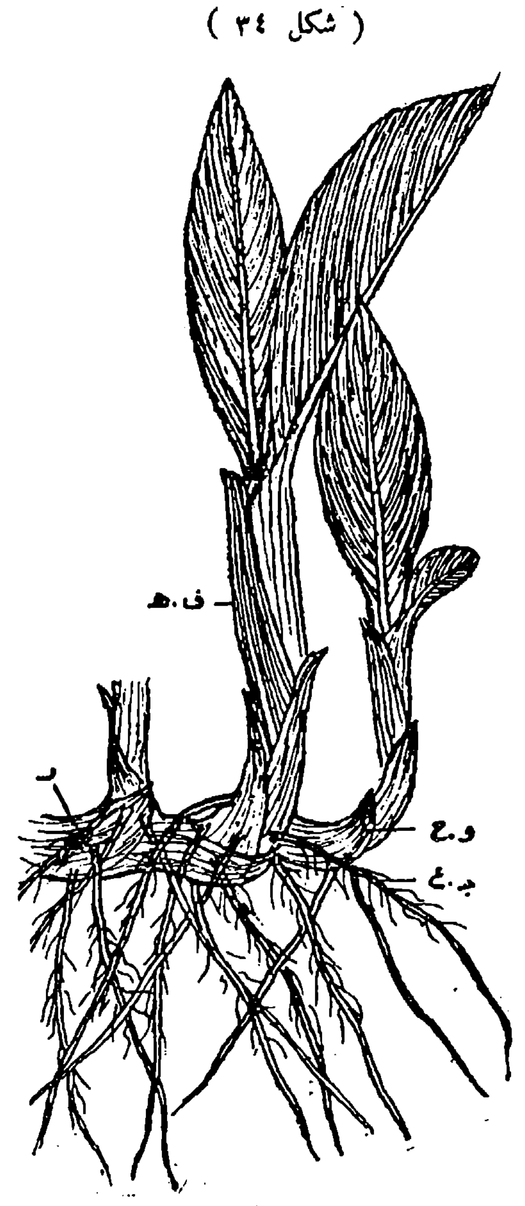
(ب) الدرنة (Tuber) : وهى ساق تحت أرضية منتفخة ، مملوءة بالغذاء المدخر ، وأكثره مواد نشوية . والدرنة غير مقسمة إلى عقد وسلاميات واضحة ، ولكنها تحمل أوراقاً حرشفية وبراعم فى تجاويف قليلة الغور ، تسمى العيون (Eyes) ، منتشرة على سطحها فى غير انتظام (شكل ٣٥).

ودرنات البطاطس أهم أمثلة الدرنات ، وتمثل نهايات فروع خاصة قريبة من سطح الأرض ، تنتفخ وتتضخم لاكتنازها الغذاء المدخر ، وتمتلىء خلاياها بالحبيبات النشوية ، ويتغطى سطحها بقشرة باهتة ، تنتثر فيها العيون (شكل ٣٣) .



نبات النجيل وترى به الريزومة تحمل أوراقا حرشفية عند العقد ، كما تعطى أفرعا هوائية إلى أعلى وجذورا عرضية ليفية (ج.ع) إلى أسفل .

(شكل ٣٤)



جزء من ريزومة نبات الكانا (ر) يبين : (جـ . ع) جذر عرضى ، (ف . هـ) فرع هوائى ، (و . ح) ورقة حرشفية .

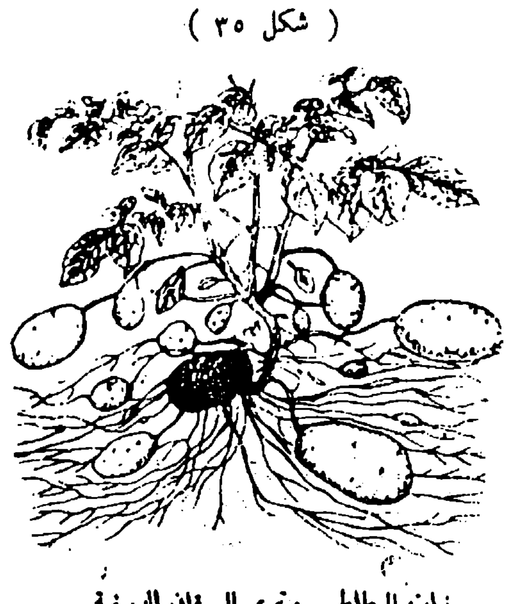
التى تحتوى كل واحدة منها على برعم أو أكثر فى آباط أوراق حرشفية ، تنفصل عادة عند انتزاع الدرنات من التربة ، وبذلك لايمكن رؤيتها ، وأهم هذه العيون هى العين الطرفية التى توجد فى النهاية البعيدة عن مكان اتصال الدرنة بالفرع ، وتحتوى البرعم الطرفى الساق المتحورة ، وتوجد فى الطرف المقابل لتلك العين الكبيرة بقايا الفرع الذى يحمل الدرنة ، وتبدو كعنق قصير يذوى بالتدريج .

ويستكثر البطاطس بتقطيع درناته قطعاً تحتوى كل منها عيناً أو أكثر وجانباً من النسيج الغذائى ، ثم تغرس هذه القطع على مقربة من سطح الأرض فتنبت البراعم التى بالعيون ، وتعطى فروعاً هوائية تحمل أوراقاً مفلطحة خضراء ، كما تعطى فروعاً أخرى تمتد تحت الأرض وتنتهى بالدرنات. وتقوم الأوراق بوظيفة البناء الضوئى لتغذية النبات ، ويختزن ما يفيض عن حاجته على هيئة نشاء فى أطراف السيقان الأرضية ، وبذلك تتكون الدرنات .

(ج) الكورمة (Corm) : تمثل الكورمة القاعدة الأرضية لساق هوائية تمتلىء بالغذاء النشوى المدخر ، فتنتفخ وتكون جسما منشحما . وتنقسم

الكورمة رأسياً إلى عقد وسلاميات . وتحيط بها العقد إحاطة تامة ، وتتصل بها هنالك أوراق حرشفية عريضة القاعدة ، بنية اللون ، لاصقة بسطح الكورمة تغلف السلامى كلها وتخرج من آباط الأوراق براعم مختلفة الأحجام ، تمزق الحراشف وتظهر من خلالها ، وتصل بعض هذه البراعم إلى حجم كبير ، حتى تشبه كورمات صغيرة ، تعرف بالأزرار ، كما تخرج من سطح الكورمة جذور عرضية خيطية ، تخترق التربة ، وتقوم بوظيفة الامتصاص .

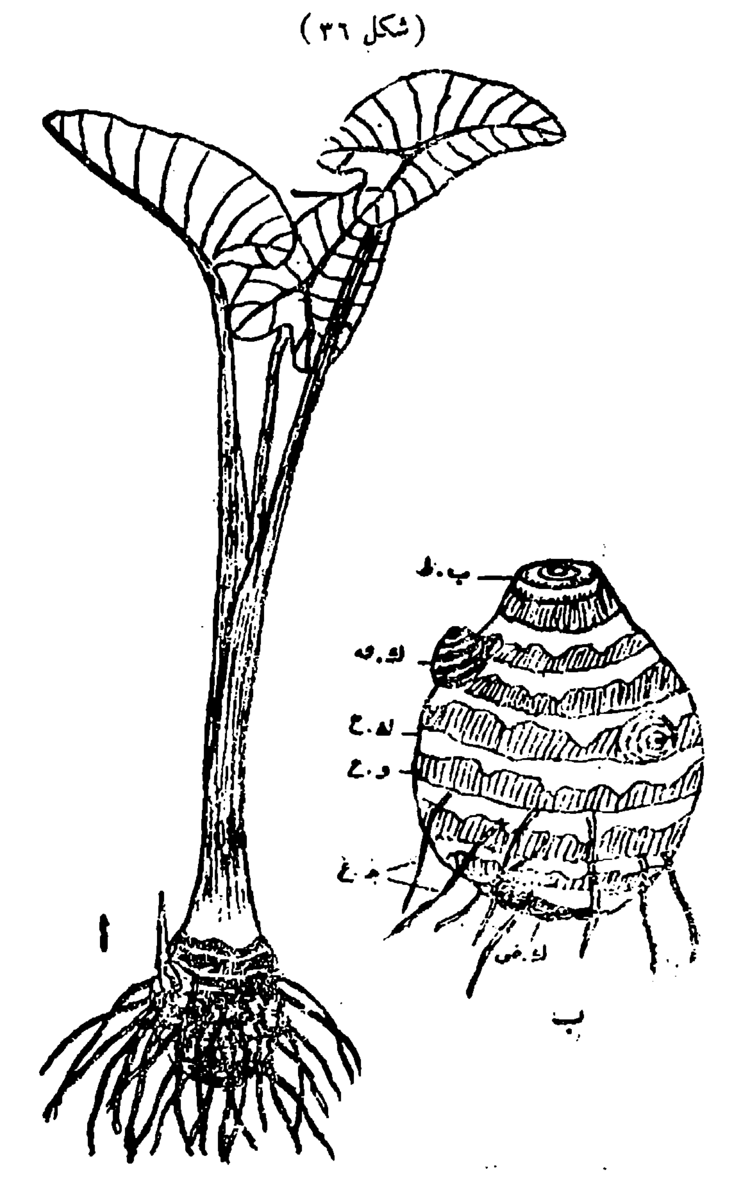
(شكل ٣٥)



نبات البطاطس وترى السيقان الدرنية

وإذا قطعت كورمة القلقاس قطعاً طولياً منصفاً ، وفحص سطحها المقطوع ، لوحظ أن الجانب الأكبر منها مكون من نسيج غض ، ممتلئة خلاياه بالنشاء امتلاء تاماً ، إذا عولج بقطرة من محلول اليود المخفف اصطبغ باللون الأزرق ، ويعرف ذلك الجزء الغض بكورمة السنة الحالية ، وفى أسفلها يوجد جزء متجلد قديم يمثل بقايا كورمة السنة الماضية ، وقد خلت خلاياها من الغذاء المدخر ، حيث استنفد فى إنتاج الفرع الهوائى الذى انتهى بتكوين كورمة السنة الحالية . ويعتمد الفرع الهوائى على الغذاء المدخر فى الكورمة أثناء الأدوار الأولى لنموه ، قبل أن تقوم الأوراق الخضراء ببناء ما يفى باحتياجاته الغذائية . وتبدو كورمة السنة الماضية مختلفة لوناً وامتلاء عن كورمة السنة الحالية ، كما تبدو أكثر منها جفافاً . وفى قمة الكورمة يوجد برعم طرفى ، به منطقة نمو مرستيمية مخروطية الشكل ، تحيط بها أوراق برعمية غضة بيضاء محمرة ، ومن خارجها توجد الأوراق الخوصية البالغة — بقواعدها العريضة — تغلف البرعم تغليفاً تاماً فتحميه . وإذا تركت الكورمة فى الأرض سنة أخرى ، فإن البرعم الطرفى ينبت فى الربيع التالى ، ليعطى فرعاً هوائياً جديداً ، ينتهى بتكوين كورمة جديدة .

(شكل ٣٦)



(ا) نبات القلقاس ، (ب) كورمة القلقاس : (ب ط) برعم طرفي ، (ج.ع) جذر عرضي ، (ك . ح) كورمة السنة الحالية ،(ك . ض) كورمة السنة الماضية ، (ك . ق) كورمة السنة القادمة ، (و.ح) ورقة حرشفية .

ويعد القلقاس (Colocasia antiquorum) — شكل ٣٦ — أهم أمثلة الكورمات ، ويستعمل الغذاء المدخر فيه طعاماً للإنسان وتحمل القلقاسة أزراراً جانبية وبراعم ، ويستكثر نبات القلقاس زراعياً بتقطيع الكورمة إلى أجزاء ، يشتمل كل منها على برعم أو أكثر ، مع جانب من النسيج الغذائي . وتغرس هذه القطع في الأرض شتاء ، فتنبت براعمها في الربيع على حساب الغذاء المدخر ، لتكون فروعاً هوائية تحمل أوراقاً خوصية خضراء .

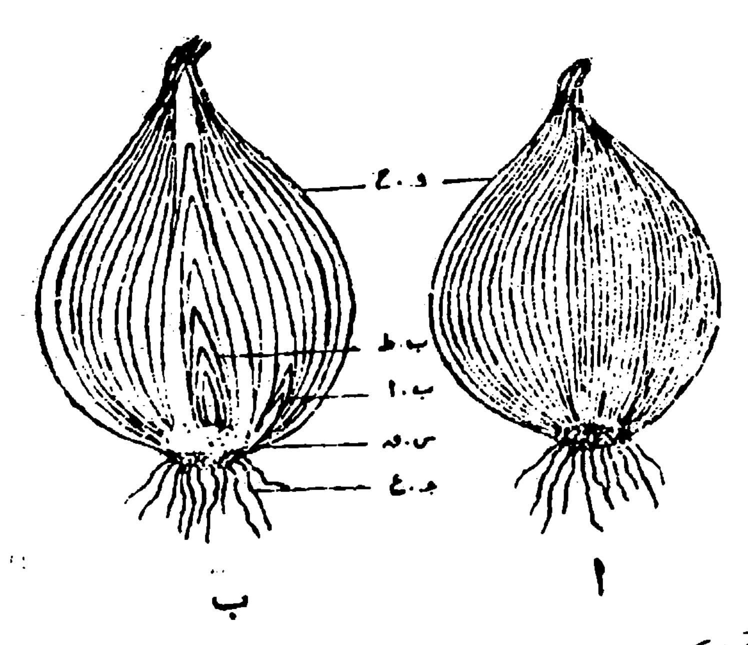
ويتحول مايفيض عن حاجة النبات من الغذاء العضوى المتكون فى عملية التمثيل إلى نشا يدخر فى الجزء الأرضى من الساق مكونا كورمة جديدة ، وتذوى الأوراق الخضراء العريضة فى نهاية فصل النمو ثم تجف . وتبقى قواعدها التى تحت الأرض مغلفة للبرعم الطرفى الذى فى قمة الكورمة . وتظل البراعم التى على سطح الكورمة كامنة مدة طويلة ، حتى إذا حل الربيع التالى نشطت ونبتت ، وأعطت فروعاً هوائية جديدة . وذلك هو التكاثر الخضرى فى القلقاس .

(د) البصلة (Bulb) : البصلة ساق قصيرة غاية القصر قرصية الشكل ، تعرف بالقرص (Disc) ، وتحمل على سطحها السفلى جذوراً عرضية ليفية تتجه إلى أسفل ، وتمتد فى الأرض لتثبيت النبات وتمتص له الماء والأملاح . كما تحمل على سطحها العلوى حراشيف بيضاء سميكة عصيرية ، يغلف بعضها بعضاً فى طبقات متعددة . وتمثل هذه الحراشف قواعد الأوراق الهوائية الخضراء — أو أوراقا حرشفية خاصة فى بعض النباتات — وتغطى البصلة عادة بورقة غشائية جافة حمراء أو بنية . وتوجد الأبصال فى كثير من أفراد الفصيلة الزنبقية كالبصل (شكل ٣٧) والتيوليب (Tulip) والزنبق (Lilium) . كما توجد أيضاً فى نبات النرجس (Narcissus) . وفى الثوم (Garlic) تتجمع عدة بصيلات (Bulbils) فى مجموعة واحدة ، تغلفها من الخارج أغلفة مشتركة جافة غشائية ، وتمثل كل بصيلة برعما إبطيا فى بصلة كبيرة .

وإذا قطعت البصلة طوليا وفحص سطحها المقطوع شوهدت الحراشف كما تشاهد الساق القرصية ، منتهية فى وسطها ببرعم طرفى كبير . وقد توجد براعم جانبية أيضاً فى آباط بعض الأوراق .

وينبت البرعم الطرفى فى الظروف الجوية الملائمة ، ليعطى فرعاً هوائياً ذا أوراق خضراء ، وتتبعه فى النمو البراعم الإبطية ، وكلها تعتمد فى

(شكل ٣٧)



(ا) الشكل الخارجى للبصلة ، (ب) قطاع طولى بها : (ب . ا) برعم أبطى ، (ب . ط) برعم طرفى ، (ج . ع) جذر عرضى ، (س . ق) ساق قرصية ، (و . ح) ورقة حرشفية .

الأدوار الأولى للنمو على الغذاء العصيرى المدخر فى القواعد اللحمية للأوراق . ولذلك تضمر هذه القواعد ويصغر حجم البصلة كثيراً أثناء تكوين هذه الفروع الهوائية . وتنشط الأوراق الخضراء فى تأدية وظيفة البناء الضوئى فترة من الزمن ، ثم يدخر جانب من الغذاء المتكون فى عملية البناء فى قواعدها التى تحت الأرض — وذلك فى أواخر فصل النمو — فتنتفخ تلك القواعد وتكبر مكونة أبصالا جديدة ، تتفكك نتيجة لضمور قواعد الأوراق التى كانت تضمها جميعاً فى البصلة الأصلية ، بينما يأخذ الفرع الهوائى فى الذبول والجفاف حتى يذوى . وتظل الأبصال كامنة فى الأرض طالما بقيت الظروف الجوية غير ملائمة ، ثم تنمو براعمها بعد ذلك عندما تتحسن الظروف ، وتتكرر هذه العملية عاماً بعد عام إذا تركت الأبصال فى الأرض . وتختزن المادة الغذائية فى معظم الأبصال فى صورة سكر لا نشاء .

التكاثر الخضرى فى النباتات الراقية

رأينا كيف يتحور المجموع الخضرى فى بعض النباتات إلى ساق أرضية تؤدى أغراض التعمير واختزان الغذاء المدخر والتكاثر الخضرى . كما رأينا أيضاً كيف تستطيع هذه السوق الأرضية المتحورة — بأنواعها المختلفة — إذا قسمت قطعاً يحتوى كل منها على برعم أو أكثر ، مع جانب من النسيج الغذائى ، وغرست فى ظروف ملائمة ، أن تنبت براعمها لتكون فروعاً هوائية . وتعزى قدرة هذه النباتات على التكاثر الخضرى إلى وجود الغذاء المدخر ، الذى يساعد البراعم على النمو فى الأدوار الأولى ، التى تسبق تكوين الأوراق الخضراء ، ومثل الغذاء المدخر فى هذه السيقان الأرضية كمثل الغذاء المدخر فى البذور ، كلاهما يستهلك فى المراحل المبكرة للإنبات .

وليس التكاثر الخضرى مقصورا على السوق الأرضية فحسب ، بل إن هناك أنواعاً من السيقان الهوائية القائمة والضعيفة تستطيع هى الأخرى أن تتكاثر خضرياً .

وأهم أنواع التكاثر الخضر الصناعى ما يأتى :

التكاثر بالعقل « التعقيل »

تستعمل هذه الطريقة فى إكثار أنواع كثيرة من النباتات صناعياً ، كالعنب والورد وقصب السكر والتين ، إذ تقطع أجزاء من سيقان هذه النباتات بكل منها عدة براعم — تعرف بالعقل (Cuttings) — ثم تغرس هذه العقل رأسياً فى تربة رطبة ، بحيث يبرز جزء منها فوق سطح الأرض ، فتتكون عند قواعدها جذور عرضية بعد فترة من الزمن ، كما تنبت البراعم مكونة فروعاً هوائية . تستمر فى النمو حتى تكون نباتات بالغة مستقلة . ومن مزايا التكاثر بالعقل أنه يؤدى إلى إنتاج نباتات تشبه أصولها إلى أبعد حد ، وفى ذلك يختلف هذا النوع من التكاثر عن التكاثر بالبذرة

الذى يؤدى أحياناً إلى إنتاج نباتات تختلف عن أصولها من وجوه كثيرة ، وهناك ميزة أخرى هى أن النمو أسرع كثيراً فى حالات التكاثر الخضرى منه فى حالة التكاثر بالبذرة .

التطعيم

التطعيم (Grafting) نوع من الإكثار الخضرى الصناعى . يستعمل كثيراً فى حالة أشجار الفاكهة بنوع خاص . فيه تنقل قطعة من ساق أحد النباتات — تعرف بالطعم (Graft or scion) — لتلصق بساق نبات آخر قريب الشبه منه . يعرف بالأصل ((Stock) . ويتصل النباتان معاً ليكونا نباتاً واحداً . يستفيد فيه الطعم من المجموع الجذرى للأصل . كما يستفيد الأصل من المجموع الخضرى للطعم . وبذلك تتوفر للنبات المزدوج الناتج مزايا النباتين معاً .

ويجب لكى ينجح التطعيم . أن يكون الطعم من نفس جنس الأصل . أو من جنس آخر قريب منه . يشبهه فى صفات كثيرة . فيطعم البرتقال مثلا على النارنج والخوخ على البرقوق . والكمثرى على السفرجل ، وهكذا .

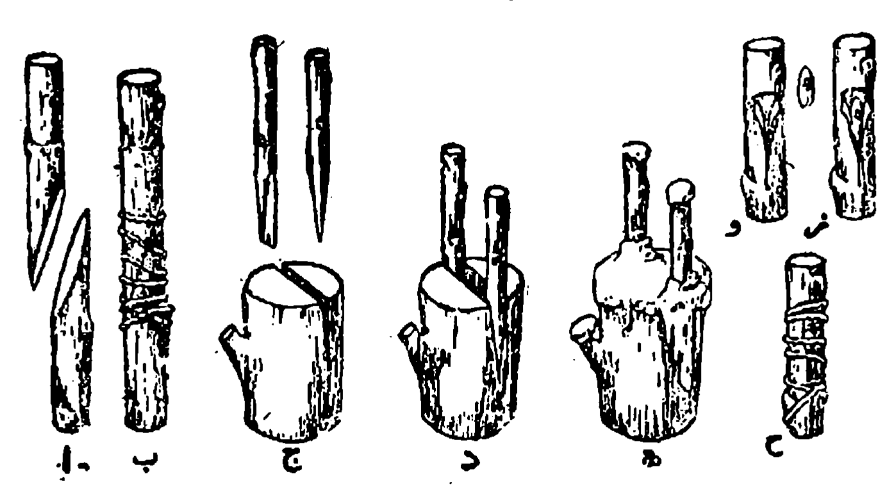
وهناك عدة أنواع من التطعيم أهمها ما يأتى :

١ — التطعيم بالقلم : ويستعمل فى حالة الأشجار المتساقطة الأوراق ، وفيه يقطع فرع الطعم إلى عدد من القطع . تحتوى كل قطعة على برعمين أو ثلاثة . ويبرى طرفها كما يبرى القلم ، أو يقطع بميل لتعريض سطح مائل نظيف (شكل ٣٨ ج) ، كذلك يقطع الأصل أفقياً على مقربة من سطح الأرض . ثم يعمل فيه شق عمودى يبتدىء من السطح المقطوع ، ويوضع القلم فى ذلك الشق بإحتراس ، بحيث تنطبق أنسجة الكامبيوم فى القلم والأصل . بعد ذلك يطلى الجرح بطلاء خاص . يعرف بطلاء التطعيم (شكل ٣٨ : ه) ، فائدته حماية الجرح من الآفات ومنع دخول الهواء . ويلف رباط محكم حول مكان التطعيم زيادة فى الوقاية من أشعة الشمس والجفاف .

ويجرى التطعيم بالقلم قبيل بدء النشاط الربيعى وتحرك العصارة . ويحفز القطع خلايا السطحين المقطوعين للانقسام والنمو وتكوين كالوس (Callus) يغلفها ، ويعقب ذلك اتصال الخشب واللحاء فى الطعم والأصل .

ومن الممكن لصق عدة أقلام من الطعم فى أصل واحد ، مع ملاحظة أن يتلامس الكامبيوم والقشرة فى كل من الأصل والطعم (شكل ٣٨) .

(شكل ٣٨)



طرق التطعيم المختلفة : (ا) طعم وأصل مقطوعان قطعا مائلا ، (ب) طريقة ربط موضع اتصال الطعم بالأصل ، (ج ، د) طعم على شكل قلم وآخر مقطوع قطعا عرضيا مائلا وطريقة وضعها فى شق بالأصل ، (ه) طريقة تغطية موضع لصق الأقلام بالطعم بوساطة الشمع ، (و ـ ح) طريقة التطعيم بالبرعم (عن سميث وآخرين) .

٢ ـ التطعيم بالبرعم أو بالعين : فى هذا النوع من التطعيم يرشق برعم (bud) تحت قلف الأصل . ويختار عادة أحد البراعم الكامنة تامة النمو ، ويفصل عن النبات الذى يراد التطعيم منه باحتراس شديد ، وذلك بقطعه بمبراة حادة قطعاً يصل إلى الخشب وينتزع جانباً من القشرة ، ثم يوضع البرعم المقطوع فى شق يعمل فى الأصل على شكل حرف T (شكل ٣٨ : و ـ ح) ، ثم يربط موضع التطعيم برباط محكم ، لوقاية الطعم ومنع تسرب الهواء والجراثيم إلى الأجزاء المجروحة . وتأخذ الأنسجة فى الالتحام بالتدريج ، كما تأخذ الجروح فى الالتئام ، وبعد إنبات البرعم المنقول

وبلوغه درجة كافية من النمو ، تقطع فروع الأصل التى فوقه ، وذلك ليتحول إليه جميع الغذاء المجهز ، فيساعد ذلك على سرعة نموه ، وتجرى عملية التطعيم بالعين عادة فى فصل الربيع حين ينشط نمو النبات وتتحرك العصارة .

٣ — التطعيم باللصق : ويستعمل فى إكثار بعض أشجار الفاكهة ، كالمانجو والجوافة : وتستعمل فى هذه الطريقة أصول مزروعة فى أصص لا يزيد عمرها على ثلاث سنوات ، وتبدأ بنزع مساحة صغيرة من قلف الأصل ، ثم ينتخب طعم جيد الثمر ، ويختار منه فرع يشبه الأصل فى سمكه وينزع منه القلف هو الآخر لمسافة محدودة . وبعد ذلك يقرب الأصل من الطعم حتى يلتصق به ، ثم يربط الفرعان بإحكام ، ويطلى الرباط بطلاء التطعيم . وبعد شهرين أو ثلاثة يتم التئام الجرح ، وعندئذ يقطع أسفل نقطة الالتئام ، كما يقطع الأصل أعلاها ، حتى يصل كل الغذاء إلى الطعم . ويوضع النبات المطعم حديثاً فى مكان ظليل حتى يمكن استمرار نمو الفرع على الأصل ، وبعد ذلك ينقل من الأصيص إلى الأرض المستديمة .

فوائد التطعيم :

(أ) الاحتفاظ بجودة الصنف : إذ أن ذلك غير مكفول فى الإكثار بالبذرة ، حيث تلقح الأزهار التى تنتج البذور تلقيحاً خلطياً .

(ب) مقاومة الأمراض : إذ أن النباتات تختلف فى درجة مقاومتها للأمراض المختلفة ، فالبرتقال مثلا يصاب بمرض التصمغ ، أما النارنج فلا يصاب به ، ولذلك يطعم البرتقال على أصول من النارنج فى الجهات التى ينتشر فيها هذا المرض . كذلك الخوخ تصاب جذوره بالدودة الثعبانية إذا زرع فى الأراضى الرملية ، بينما يقاوم المشمش هذا المرض ، ولذلك يطعم الخوخ على أصول من المشمش ، وهكذا .

(ج) سرعة الإثمار : تثمر النباتات المستكثرة بالتطعيم أسرع كثيراً مما تثمر النباتات المزروعة بالبذرة .

(د) استكثار نباتات فى تربة لا تلائم نمو جذورها: وذلك باستعمال هذه النباتات طعما على اصول تستطيع أن تنجح فى تلك التربة ، ففى الأراضى الرملية مثلا — حيث ينجح الليمون أكثر مما ينجح البرتقال يطعم البرتقال على أصول من الليمون .

الترقيد

فى بعض النباتات ذوات السيقان الجارية ، كالشليك ، تلامس الساق سطح الأرض فى بعض مواضع ، فتحفزها هذه الملامسة إلى تكوين جذور عرضية تمتد فى الأرض ، كما تحفز البراعم على النمو لتكوين فروع هوائية . وتستغل هذه الظاهرة فى إكثار هذا النبات وغيره إكثاراً خضرياً صناعياً . إذ تثنى الفروع إلى أسفل لتلامس سطح الأرض فى بعض مواضعها ، وتثبت فى ذلك الوضع فترة من الزمن ريثما تعطى جذوراً عرضية وفروعاً هوائية جديدة وبعد ذلك يفصل الفرع عن النبات الأصلى ليصبح نباتاً مستقلا ، وتعرف هذه الطريقة بالترقيد ، ومن أمثلة النباتات ذوات السيقان الجارية التى تستكثر بهذه الطريقة — بالإضافة إلى نبات الشليك (شكل ٢٦) — نبات الليبيا (Lippia) ، وهو من نباتات المتنزهات التى تغطى سطح الأرض ببساط أخضر .

ولا يقتصر الترقيد على النباتات ذوات السيقان الجارية وحدها ، بل إن هناك نباتات ذوات تفرع هوائى عادى ، كالجهنمية والعنب والليمون ، يمكن إكثارها بهذه الطريقة . وإذا تعذرثنى الفرع المراد ترقيده لصلابته أو بعده عن سطح الأرض ، فمن الممكن ترقيده فى أصيص يوضع فى المستوى الملائم . وتستمر عملية الترقيد بضعة أسابيع ، يستمد الفرع الراقد خلالها ما يلزمه من غذاء من النبات الأصلى ، نظراً لاتصاله به ، وبعد ذلك يفصل الفرع الراقد عن النبات الأصلى ليكون نباتاً مستقلا .

الباب السادس

الورقـــة

الأوراق النباتية – كما قدمنا – زوائد جانبية خضراء مفلطحة ، تحملها السيقان عند العقد ، وتؤدى وظيفة البناء الضوئى . وأجزاؤها الرئيسية – التى سبق بيانها فى الباب الثانى – هى القاعدة والعنق والنصل ، وسنتحدث عن كل منها بشىء من التفصيل فى هذا الباب .

قاعدة الورقة (Leaf base) :

القاعدة هى الجزء الذى تتصل عنده الورقة بالساق ، وهى أضخم قليلا من العنق ، وقد تنتفخ انتفاخاً ظاهراً فى بعض النباتات ، وتقترب من الساق اقتراباً شديداً حتى تكاد تلتصق به أحياناً ، مكونة معه زاوية حادة ، تعرف بإبط الورقة (Leaf axil) . ويساعد هذا الالتصاق على حماية البرعم – أو البراعم – الإبطية الرقيقة من مختلف المؤثرات الخارجية .

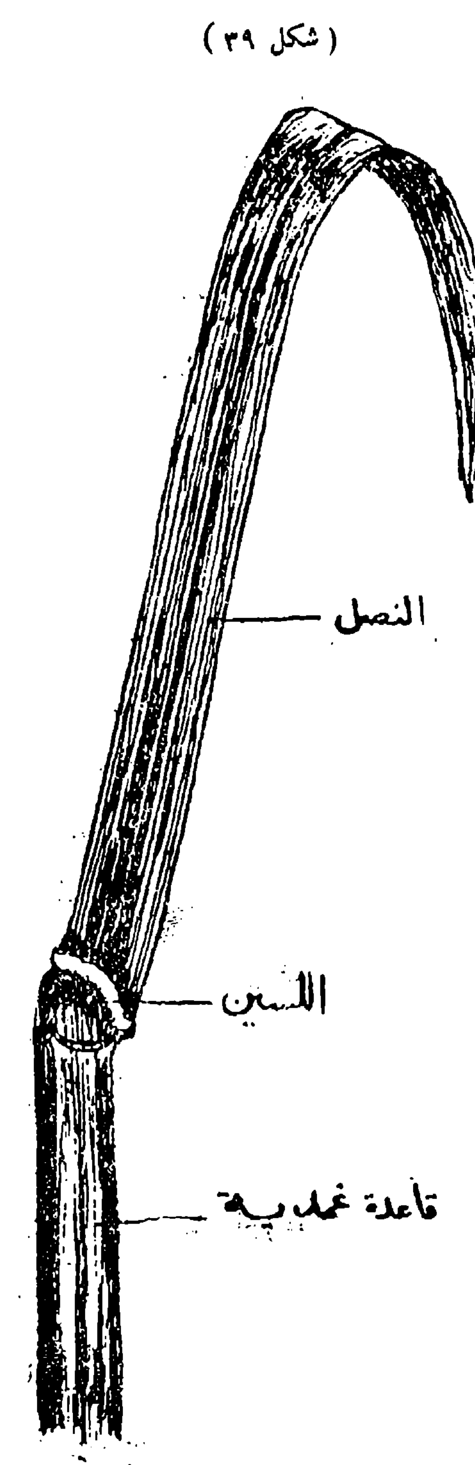
وفى بعض النباتات تمتد القاعدة لتكون غمداً يحيط بالساق – إحاطة تامة أو جزئية – فتزيد فى حماية البراعم ، والأغماد الورقية نادرة الوجود فى ذوات الفلقتين ، ولكنها واسعة الانتشار بين ذوات الفلقة الواحدة . وأكثر ماتوجد فى ذوات الفلقتين بين أفراد الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) . كالجزر والشمر واليانسون وغيرها . أما فى ذوات الفلقة الواحدة فهى منتشرة بين نباتات الفصيلة النجيلية (Garmineae) ، كالقمح والذرة والنجيل والغاب والبوص .

ويمتد الغمد فى بعض النجيليات مسافة طويلة على الساق قد تصل إلى سلامى أو أكثر . وورقة النجيليات تتكون من غمد ونصل ، لايصل بينهما عنق ، ولذلك فهى ورقة جالسة . ويوجد على سطحها العلوى غشاء رقيق

بين القاعدة والنصل ، يعرف باللسين (Ligule) ويمكن مشاهدته بوضوح في ورقة الذرة (شكل ٣٩) .

وفى بعض النباتات تحمل القاعدة زائدتين على جانبيها ، تعرفان بالأذينتين (Stipules) ، تساعدان فى حماية البراعم وتغطيتها ، وتسمى الأوراق التى تحمل أذينات أوراقاً مؤذنة (Stipulate) ، وإذا خلت من الأذينات سميت غير مؤذنة (Exstipulate) ، ومن أمثلة الأوراق المؤذنة أوراق الورد والملوخية والسنط والبسلة وغيرها ، وفى ورقة الورد (شكل ٤٣ : ب) تلتحم الأذينتان بعنق الورقة مسافة قصيرة . وفى نباتات الفصيلة الحماضية (Polygonaceae) تتصل الأذينتان معاً لتكونا غمداً أنبوبياً غشائياً حول قاعدة السلامى (شكل ٤٠) ، ويعتبر هذا الغمد من أهم صفات الفصيلة ، ويعرف بالأذينة الغمدية (Ochrea) .

(شكل ٣٩)



ورقة الذرة ، ويرى بها النصل ذو التعرق المتوازى والقاعدة الغمدية التى تغلف الساق واللسين .

عنق الورقة :

(Leaf stalk or petiole)

عنق الورقة جزء أسطوانى مستطيل ، يختلف طولاً وقصراً باختلاف النباتات ، وقد يكون مستديراً استدارة تامة فى بعض الأحوال ، أو مقعراً بعض الشىء من ناحية سطحه العلوى ،

وهذا هو الأرجح ، ووظيفة العنق حمل النصل بعيدا عن الساق ، حيث يأخذ بحظ أوفر من الضوء والهواء . وتوصف الأوراق ذوات الأعناق بأنها معنقة (Petiolate or Stalked) ، أما التي لا أعناق لها فتسمى أوراقا جالسة (Sessile) ، والأوراق المعنقة أكثر انتشارا بين ذوات الفلقتين من الأوراق الجالسة ، أما في ذوات الفلقة الواحدة فالأوراق عادة جالسة .

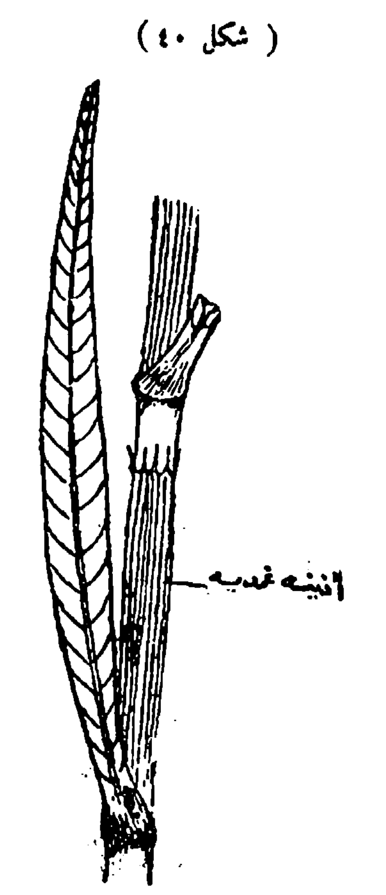
نصل الورقة :

(Leaf blade or lamina)

نصل الورقة هو الجزء الأخضر المفلطح ، الذي يحمله العنق في طرفه البعيد من الساق ، ووظيفته الإساسية البناء الضوئي ، فهو لذلك يؤدي الدور الأول في تجهيز غذاء النبات الأخضر ، ذلك الغذاء الذي يعتمد عليه النبات بطريق مباشر والحيوان بطريق غير مباشر .

ويتكون النصل في بعض الأوراق من قطعة واحدة غير منقسمة ، وتسمى الورقة في تلك الحالة ورقة بسيطة (Simple) ، وفي البعض الآخر ينقسم النصل إلى عدة أجزاء منفصلة انفصالا تاماً ، فتوصف الورقة بأنها مركبة

(شكل ٤٠)



جزء من ساق البولجونم (من نباتات الفصيلة الحماضية) يبين الأذينة الغمدية .

(Compound) ، ويسمى كل جزء من أجزاء نصلها المنقسم وريقة (Leaflet) ، ويختلف عدد الوريقات في النباتات المختلفة ، فهناك مثلا وريقتان لكل ورقة من أوراق الرطريط (*Zygophyllum coccineum*) ، وثلاثة في البرسيم ، وعدد كبير غير محدود في السنط (Acacia) والباركنسونيا (Parkinsonia) ،

أما الأوراق البسيطة فمن أمثلتها أوراق الملوخية والتوت والحور والدورانتا والياسمين الزفر .

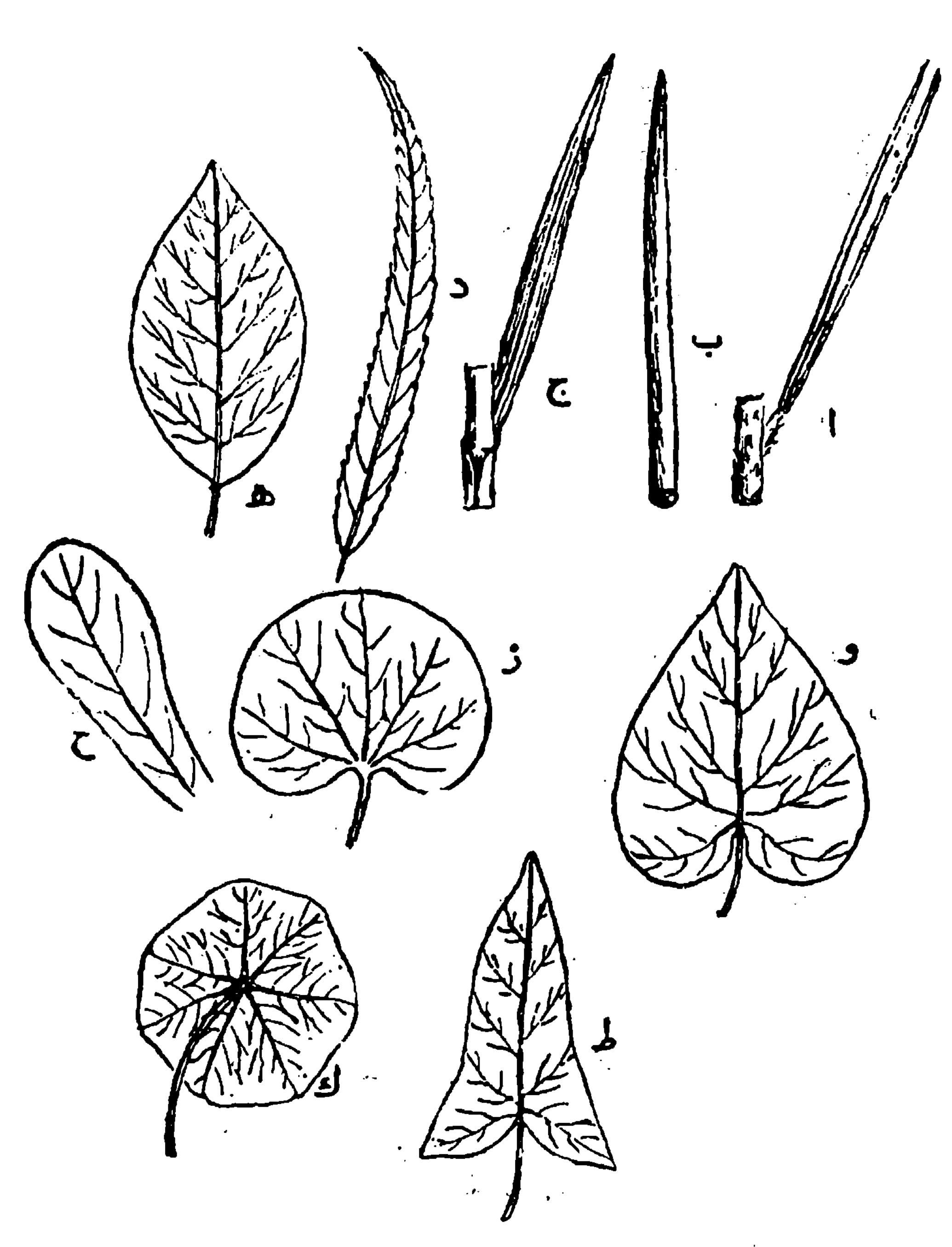
وفى بعض النباتات ينقسم النصل انقسامات عميقة بعض الشيء ،ولكنها لاتصل إلى العرق الوسطى ، وبذلك يصبح متميزاً إلى فصوص واضحة ، وتسمى الورقة فى تلك الحالة ورقة مفصصة (Lobed) .

أشكال الورقة البسيطة :

للأوراق البسيطة أشكال متعددة (شكل ٤١) تختلف باختلاف النباتات ، فهناك الأوراق الإبرية (Acicular) كأوراق الصنوبر ، وهى رفيعة مستطيلة أسطوانية أو غير تامة التفلطح ، وهناك الأوراق الشريطية (Linear) كأوراق النجيليات ، مثل الذرة والنجيل والقمح والشعير . والأوراق الأنبوبية (Tubular) كأوراق البصل ، حيث تمثل كل ورقة منها أنبوبة خضراء فارغة أما أوراق الكافور والصفصاف فهى أوراق رمحية (Lanceolate) ، إذ أن نصلها يشبه الرمح فى شكله من حيث اتساع القاعدة والتدرج فى الضيق نحو القمة . ومن الأوراق مايتخذ شكلا بيضيا (Ovate) كأوراق الدورانتا والتين البنغالى والفيكس . ومنها ما هو قلبى الشكل (Cordate) لها قمة مدببة وقاعدة ذات فصين مستديرى الحافة يخرج العنق من بينهما ، كما فى ورقة الأيبوميا (Ipomoea) . ومن الأوراق البسيطة أيضاً ما هو كلوى الشكل (Reniform). ومنهـــا الأوراق السهمية (Sagittate) كأوراق القطبة (Sagittaria) التى تشبه السهم فى شكلها ، وهى مثلثة كالحربة ولكن قاعدة نصلها ذات فصين مدببين ، تتجه قمتاهما إلى الخلف ، وتمتد حافتاهما الخارجيتان على استقامة الضلعين . وتسمى الورقة ملعقية (Spathulate) إذا شابهت الملعقة من حيث اتساع نصلها تجاه القمة ، وضيقه تجاه القاعدة ، كما فى نباتى الأقحوان (Calendula) والرجلة (Portulaca oleracea) . وهناك عـــدا ذلك الأوراق المزراقية (Hastate) كأوراق العليق (Convolvulus arvensis) وهى تشبه الأوراق السهمية ، ولكن الفصين اللذين فى مؤخرة النصل تمتد قمتاهما إلى الخارج على الجانبين وليس إلى أسفل كما فى الأوراق السهمية ،

أما ورقة أبي خنجر (Tropaeolum) فهي ورقة قرصية (Peltate) ، لأنها مستديرة يتصل فيها العنق بمركز النصل ا.

(شكل ٤١)

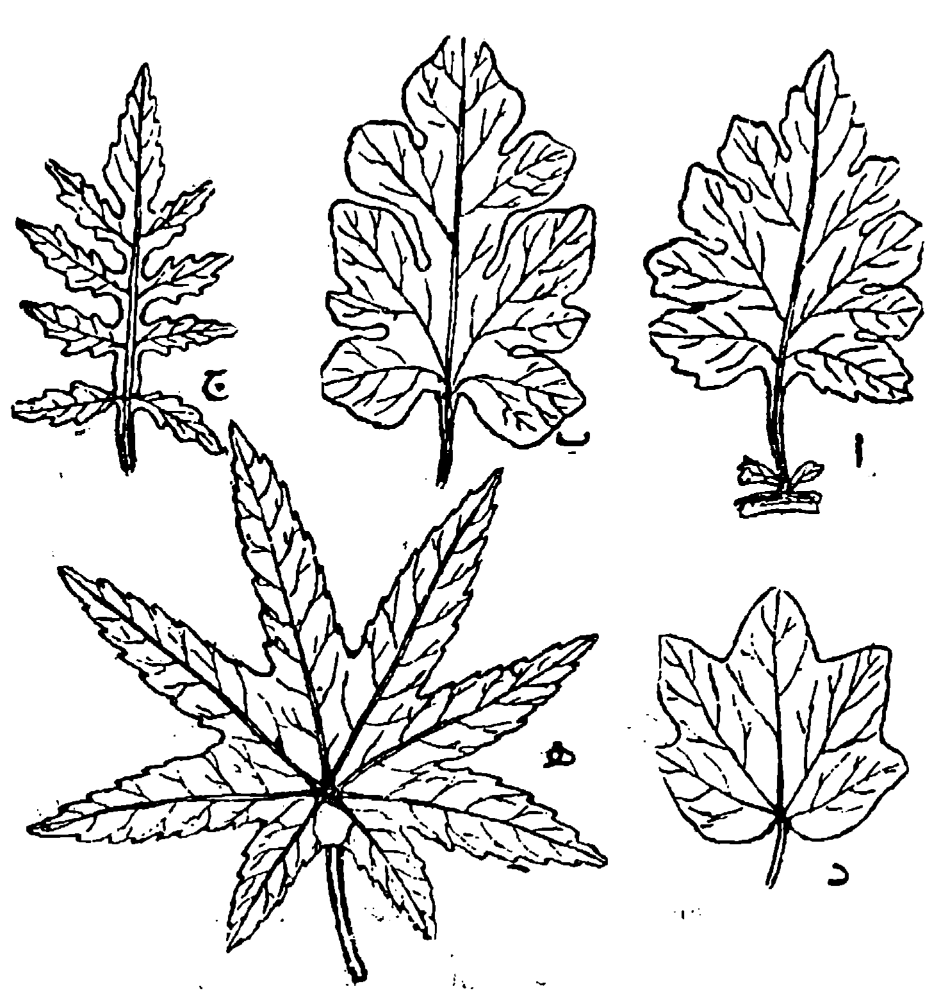


الأشكال المختلفة للأوراق البسيطة (ا) ورقة إبرية، (ب) ورقة أنبوبية، (ج) ورقة شريطية، (د) ورقة رمحية، (هـ) ورقة بيضية، (و) ورقة قلبية، (ز) ورقة كلوية، (ح) ورقة ملعقية، (ط) ورقة مزراقية، (ك) ورقة قرصية.

أشكال الورقة المفصصة :

إذا كان انقسام النصل فى الأوراق المفصصة متجهاً جانبياً نحو العرق الوسطى (شكل ٤٢ : ا ، ب ، ج) ، فإن الورقة تسمى ريشية التفصص (Pinnately - lobed) ، أما إذا كان متجهاً نحو القاعدة -كاتجاه الفجوات التى بين الأصابع نحـــو راحة اليد - فإن الورقة تكون راحيـــة التفصص (Palmately-lobed) (شكل٤٢ : د،هـ) ، وفى بعض النباتات يكون الانقسام غير غائر ، لايزيد على منتصف المسافة بين حافة الورقة وعرقها الوسطى أو بين الحافة وقاعدة النصل ، فتوصف الأوراق فى هذه الحالة بأنها ضحلة التفصص

(شكل ٤٢)



أشكال الورقة المفصصة . (ا) ورقة الكريزانثيوم (ضحلة التفصص الريشى) ، (ب) ورقة الحنظل (عميقة التفصص الريشى)،(ج)ورقة الخشخاش (مشرحة التفصص الريشى) (د) ورقة الخطمية (ضحلة التفصص الراحى)، (هـ) ورقة الخروع (عميقة التفصص الراحى).

الريشي (Pinnatifid) ، كما فى الكريزانثمم (Chrysanthemum) شكل (٤٢ : ا) ، أو ضحلة التفصص الراحى (Palmatifid) ، ومن أمثلتها الخبيزة (Malva parviflora) والخطمية (Althaea) شكل (٤٢ : د) . أما إذا زاد الانقسام عن نصف العمق - كما فى أوراق الحنظل (شكل ٤٢ : ب) والخروع (شكل ٤٢ : ه) - فإن الأوراق يقال لها عميقة التفصص الريشي (Pinnatipartite) أو عميقـــة التفصص الـــراحى (Palmatipartite) على التوالى . وهناك نباتات كالخشخاش (شكل ٤٢ : ج) وأحد أنواع الأيبوميا (Ipomoea palmata) يبلغ الانقسام فى أوراقها عمقاً كبيراً حتى يـــكاد يصل إلى العرق الوسطى أو قاعدة النصل ، وتسمى أوراق هذه النباتات مشرحة التفصص الـــريشي (Pinnatisect) أو الـــراحى (Palmatisect) ، وفى أوراق بعض النباتات - كالفجل والجرجير والجعضيض - يتخذ التفصص الريشي شكلا خاصاً ، من شأنه أن يقع أكبر الفصوص فى قمة النصل وأن تتدرج بقية الفصوص فى الصغر كلما قاربت القاعدة .

وفى نباتات أخرى كنبات « هيوسيرس » (Hyoseris lucida) ، وهو من النباتات المنتشرة بكثرة فى منطقة مريوط وفى الشريط الساحلى بالصحراء الغربية ، توجد أوراق ضحلة التفصص الريشي ، ولكن فصوصها متساوية تقريباً وتتجه إلى الخلف بشكل منتظم .

أشكال الورقة المركبة :

هناك نوعان رئيسيان من الأوراق المركبة (شكل ٤٣) . يختلفان تبعاً لطريقة اتصال الوريقات بمحور الورقة :

(أ) أوراق مركبة راحية (Compound palmate leaves) : تتصل فيها جميع الوريقات بعنق الورقة مباشرة عند نهايته ، ولذلك تبدو كأنما خرجت جميعها من موضع واحد ، كما تخرج الأصابع من راحة اليد ، ومن أمثلتها الأراليا والترمس .

(ب) أوراق مركبة ريشية (Compound pinnate leaves) **:** تتصل فيها الوريقات بمحور طولى فى وسط النصل ، وتكون مرتبة على جانبيه كترتيب شعيرات الريشة على جانبي محورها ، ومن هنا جاءت تسميتها « ريشية » ، ويمتد محور الورقة المركبة على استقامة العنق ، ويقابل من حيث الموضع العرق الوسطى (العير) فى الورقة البسيطة ، ويحمل الوريقات متقابلة على جانبيه على مسافات تختلف طولا وقصرا باختلاف النباتات . ومن أمثلة الأوراق الريشية المركبة أوراق اللبخ والبسلة والفول .

وتنتهى بعض الأوراق الريشية المركبة بوريقة واحدة فى طرف المحور ، وتسمى فى هذه الحالة أوراقاً ريشية فردية (Imparipinnate) ، ومن أمثلتها أوراق الورد والتكوما (Tecoma) . وفى نباتات أخرى تنتهى الورقة المركبة بوريقتين متقابلتين على جانبي قمة المحور ، وتسمى أوراقاً ريشية زوجية (Paripinnate) ، ومن أمثلتهـــا أوراق السنامكى (Cassia acutifolia) ، وهناك نباتات كاللبخ والبوانسيانا (Poinciana) ، تـــكون أوراقها مركبة ريشية تتجزأ فيها الوريقات وينقسم نصلها إلى عدة أجزاء منفصلة ، تنتظم على أفـــرع المحور الرئيسى . وتعرف بالرويشات (Pinnules) ، كما تعرف الوريقات نفسها بالريشات (Pinnae) ، وتسمى الأوراق فى هذه الحالة ريشية متضاعفة (شكل ٤٣ : ج) ، فإذا كانت الرويشات محمولة على محاور من الدرجة الثانية سميت هذه الأوراق المتضاعفة ريشية ثنائية (Bipinnate) ، أما إذا كانت محمولة على محاور من الدرجة الثالثة — كما فى بعض السراخس — فإنها تسمى ريشية ثلاثية (Tripinnate) .

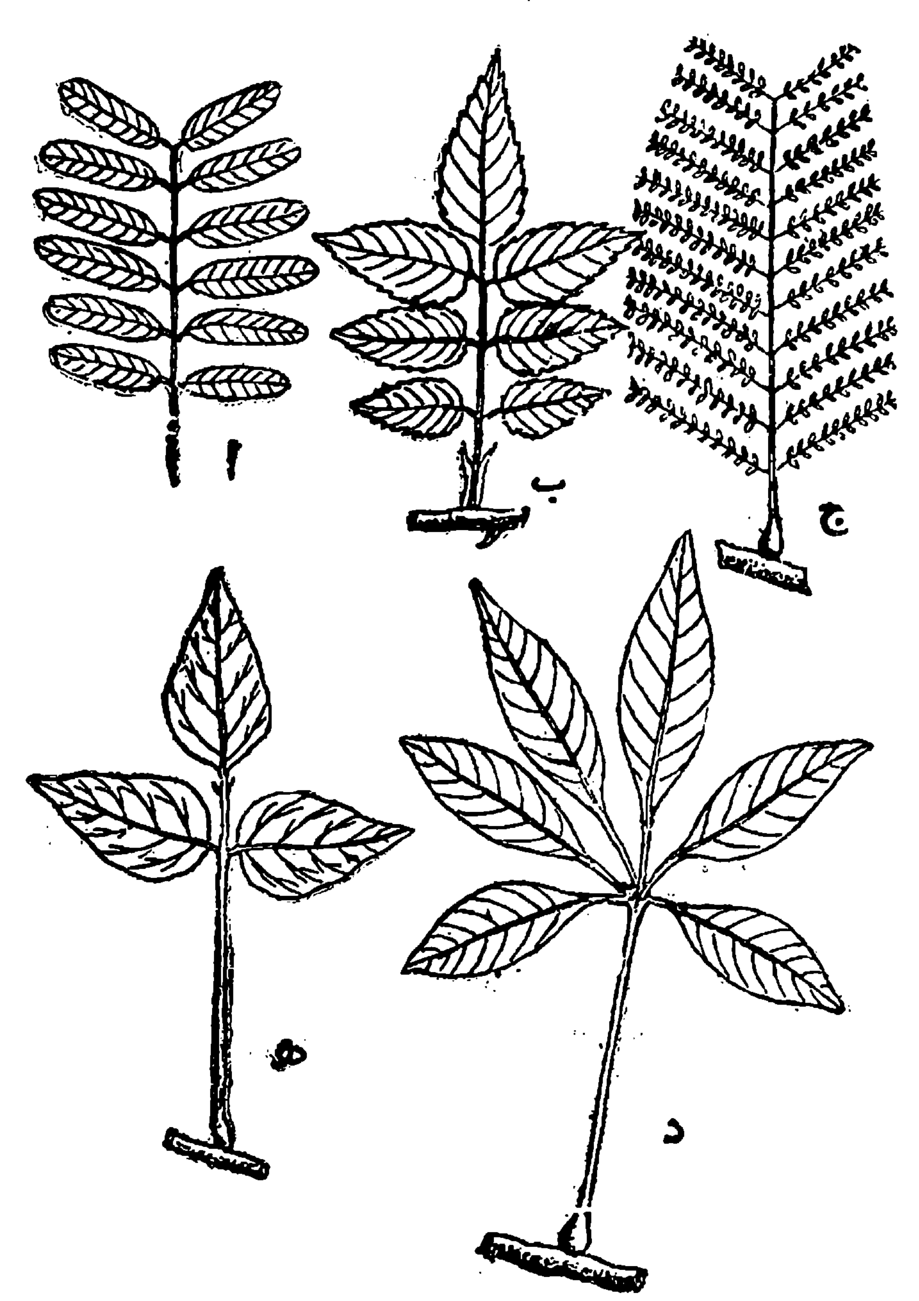
وفى بعض النباتات تتكون الأوراق الريشية المركبة من ثلاث وريقات فحسب ، كما فى البرسيم والفاصوليا وغيرهما (شكل ٤٣ : هـ) .

وفى كثير من أنواع الموالح — كالبرتقال والليمون والنارنج وغيرها (شكل ٤٤) — توجد أوراق ذات نصل بسيط وعنق مجنح ، بينهمامفصل صغير ، ويعتبر الكثيرون وجود ذلك المفصل دليلا على أن أوراق الموالح هى فى حقيقة أمرها أوراق مركبة ، ريشية فردية ، ذات ثلاث وريقات ، قدنمت

فيها الوريقة الطرفية نمواً طبيعياً بينما ضمرت الوريقتان الأخريان وتحورتا إلى جناحين فى قمة العنق .

وتلتبس الأوراق المركبة مع الفروع الخضرية أحياناً على الفاحص غير


(شكل ٤٣)



أشكال الورقة المركبة : (ا) ورقة السنامكى (مركبة ريشيه زوجية) ، (ب) ورقة الورد (مركبة ريشية فردية)، (ج) ورقة البوانسيانا (مركبة ريشية متضاعفة) ،(د) ورقة الأرالية (مركبة راحية) ، (هـ) ورقة مركبة ثلاثية ،

المدقق ، بيد أن هناك فروقا يمكن بها تمييز الورقة المركبة بسهولة ، منها أن لها برعماً فى إبطها ، بينما الوريقة لابرعم لها . وليس للورقة المركبة برعم طرفى ، أما الفرع فينتهى ببرعم ، كذلك تحمل الأوراق المركبة فى بعض النباتات أذينات عند قاعدتها ، كما فى الورد وفى كثير من نباتات الفصيلة القرنية .

(شكل ٤٤)

جزء من نبات النارنج يبين الأوراق ذوات الأعناق المجنحة والأوراق القاعدية للفروع الإبطية وقد تحورت إلى أشواك

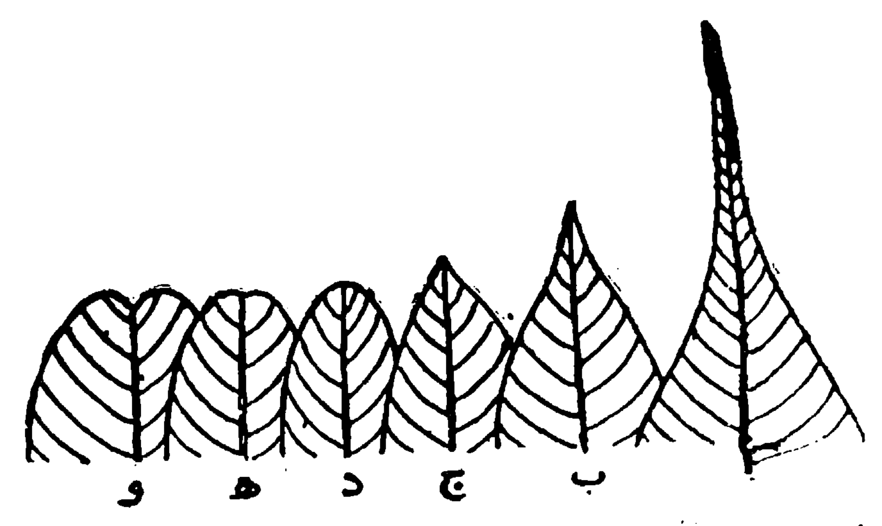
قمة الورقة (Leaf apex) :

تختلف قمة النصل فى الورقة أو الوريقة من نبات لآخر ، كما يتضح من (شكل ٤٧) ، فتكون أحياناً حادة أو مدببة (Pointed or acute) إذا انتهت بسن مدبب غير مستطيل ، ولم يكن هناك تقعر فى حافة الورقة على الجانبين خلف هذا السن المدبب (شكل ٤٥ : ج) كما فى الملوخية . وتسمى القمة مستدقة (Acuminate) إذا كانت مدببة ومستطيلة قليلا ، بحيث تتقعر حافة النصل خلفها (شكل ٤٥ : ب) كما فى السرسوع (Dalbergia sisso) وفى بعض النباتات كما فى أحد أنواع الفيكس (Ficus religiosa) ، يزيد طول الجزء المدبب من القمة كثيراً بحيث تبدو كذنب طويل ، وتوصف قمة الورقة فى هذه الحالة بأنها مستدقة مذنبة (Caudate) ، وهناك القمة المستديرة التى لاتدبب فيها (شكل ٤٥ : د) كما فى وريقات اللبخ والبوانسيانا وأوراق الفيكس نيتيدا (Ficus nitida) . وأخيراً توجد أوراق ذات قمم غائرة أو مقلوبة (شكل ٤٥ : هـ ، و) كأوراق الحماض (Oxalis) ، وفى هذه الأوراق تنخفض القمة قليلا عن مستوى الحافة فى أعلى الورقة .

حافة الورقة (Leaf margin) :

تختلف أيضاً شكل الحافة اختلافاً كبيراً فى أوراق ووريقات النباتات

(شكل ٤٥)

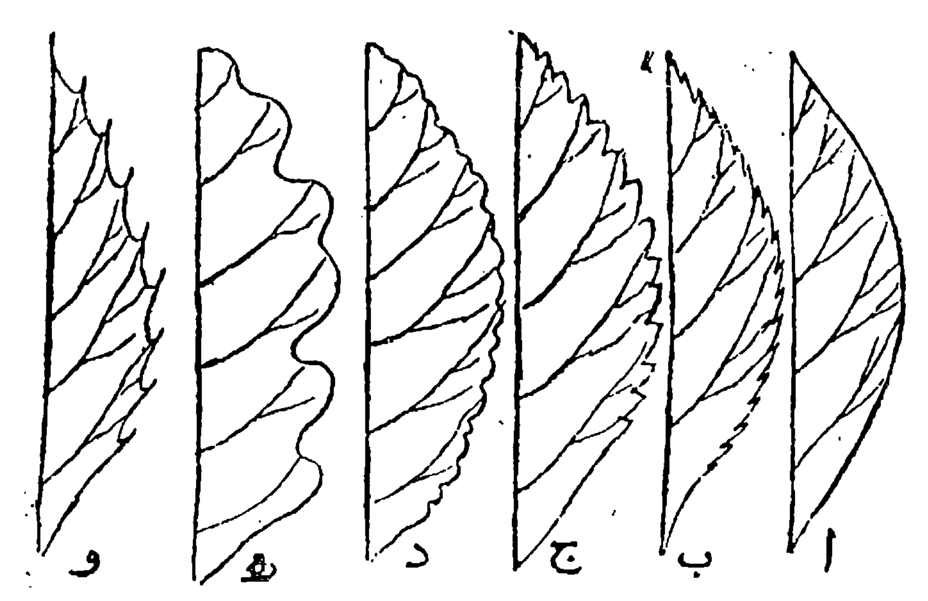


أشكال قمة الورقة :(ا) مستدقة-ذنبية، (ب) مستدقة ، (ج) حادة أو مدببة، (د) مستديرة ، (هـ) متلوية ، (و) غائرة .

المختلفة ، ففى بعض النباتات تكون الحافة مستوية خالية من النتوءات (شكل ٤٦ : أ) وأحياناً — كما فى أوراق الورد والموخية — توجد بالحافة نتوءات حادة منتظمة ، قممها تتجه إلى الأمام كأسنان المنشار (شكل ٤٦ : ب) وتوصف هذه الحافة بأنها منشارية (Serrate) . وفى نبات الدورانتا — وكثير غيره — توجد نتوءات منتظمة فى حافة الورقة ، ولكن تكون قممها متجهة جانبياً ، متعامدة على الحافة، وليست إلى الأمام (شكل ٤٦ : ج) ، فهى لذلك تشبه الأسنان ، وتسمى الحافة مسننة (Toothed or Dentate) .

وفى بعض النباتات كالتوت **(Morus alba)** تكون النتوءات صغيرة مستوية القمة (شكل ٤٦ : د) ، فتوصف الحافة فى تلك النباتات بأنها مقروضة (Crenate) ، وأحياناً تكون تضاريس الحافة غائرة بعض الشيء متموجة غير منتظمة العمق والحجم ، كما فى أوراق البلوط **(Quercus)** — (شكل٤٨ : هـ)—وتسمى الحافة فى تلك الحالة متكيسة **«متعرجة» (Sinuate)** ، وفى أوراق البربرى **(Berberis)** وشوك الجمال **(Echinops spinosissimus)** توجد بالحافة أسنان حادة مدببة الأطراف كالأشواك (شكل ٤٦ : و) ولذلك توصف بأنها شوكية (Spiny) .

(شكل ٤٦)

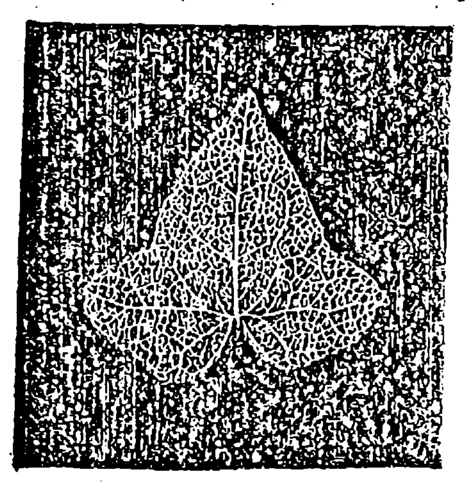


أشكال حافة الورقة : (ا) كاملة . (ب) منشارية ، (ج) مسننة . (د) مفروصة ، منعرجة ، (و) شوكية .

تعرق الورقة (Leaf venation) :

ينتشر فى نصل الورقة ويتخلل أنسجتها جهاز توصيلى ، قوامه مجموعة من العروق ، تمثل امتدادات للحزم الوعائية التى بالساق ، وتنقل هذه العروق إلى الورقة ماتحتاج إليه من عصارة نيئة ، كما تنقل منها العصارة المجهزة إلى الساق والجذور والأزهار والثمار ، فتغذيها .

(شكل ٤٧)



التعرق الشبكى فى ورقة من أوراق نبات ذى فلقتين ، وتكون العروق هيكلا دعاميا داخل أنسجة الورقة يحفظها من التهدل .

وإنتشار العروق وتشعبها فى سائر أجزاء النصل يكسبه قوة ومتانة ، لما تحتويه من أنسجة ماجننة قوية . ويساعده وجود ذلك الهيكل الدعامى (شكل ٤٧) على أن يظل مفلطحاً منبسطاً رغم رقته ، وفى إحتفاظه بتفلطحه ضمان لإستمرار تعرضه للضوء والهواء ، وعون له على تأدية وظيفة البناء الضوئى على أكمل وجه .

ويتميز فى وسط الورقة عرق كبير ، يمتد على إستقامة العنق من قاعدة النصل إلى قمته ، ويبرز عادة على السطح السفلى قليلا ، كما يكون تجويفاً غائراً نوعا ما على السطح العلوى ، ويدق بالتدريج كلما اقتربت قمة النصل ، ويعرف هـــذا العرق الرئيسى بالعرق الوسطى أو العير (Midrib) .

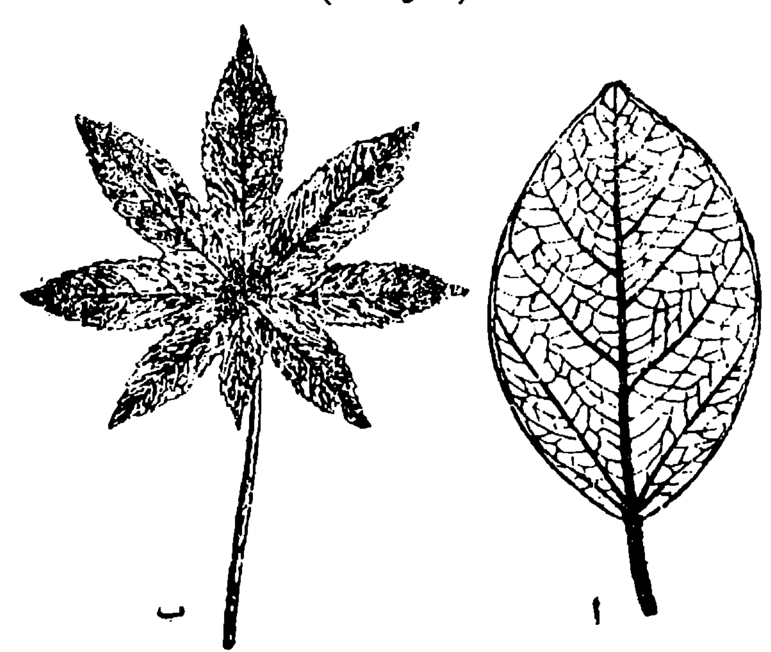
وهناك نوعان من التعرق :

(أ) التعرق الشبكى (Reticulate venation) :

وقد اختصت به نباتات ذوات الفلقتين ، ويندر وجوده فى ذوات الفلقة الواحدة . وفى هذا النوع من التعرق (شكل ٤٨) تخرج من العير — أو العروق الرئيسية — عروق جانبية (Lateral veins) تمتد تجاه حافة الورقة تميل إلى الأمام. ثم تتفرع بدورها إلى عريقات دقيقة (Veinules) ، تتشعب فى كل إتجاه ، وتتلاقى مكونة شبكة متصلة .

والتعرق الشبكى إما أن يكون ريشياً (شكل ٤٨ : ا) وإما أن يكون راحياً (شكل ٤٨ : ب) ، ويحدث التعرق الريشى فى معظم الأوراق البسيطة ووريقات الأوراق المركبة ، وكذلك فى الأوراق ذات التفصص الريشى . وفى هذا النوع من التعرق يوجد عرق رئيسى واحد — هو العير — تخرج منه على التتابع عروق جانبية على الناحيتين . ويغلب هذا النوع فى ذوات الفلقتين ، ومن أمثلته أوراق الفيكس والملوخية ووريقات الورد والفول . أما التعرق الراحى فيحدث فى الأوراق راحية التفصص ، ويندر حدوثه فيما عداها من أوراق ذوات الفلقتين ، وفيه يوجد أكثر من عرق رئيسى واحد ، يمتد من قاعدة النصل إلى قمته ، وتلتقى جميع العروق الرئيسية فى موضع واحد عند قاعدة النصل أو قمة العنق ، كما تلتقى الأصابع فى راحة اليد ومن أمثلة الأوراق ذات التعرق الراحى ورقة الخروع (شكل ٤٨ : ب) وورقة العنب (شكل ٢٣) ، وتوصف الأوراق ذات التعرق الريشى بأنها « ريشية التعرق » (Pinnately-veined) ، كما توصف الأوراق ذات التعرق الراحى بأنها « راحية التعرق » — (Palmately-veined) .

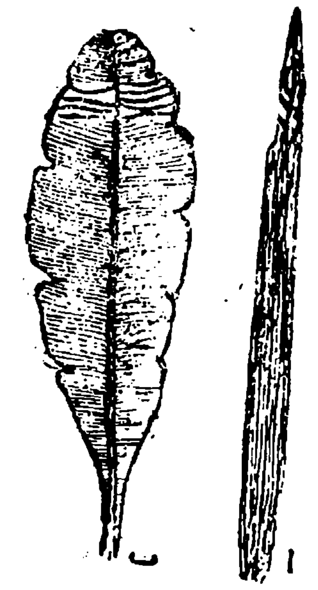
(شكل ٤٨)



انواع التعرق الشبكى : (ا) ورقه الفيكس تبين التعرق الشبكى الريشى ، (ب) ورقة الخروع تبين التعرق الشبكى الراحى .

(ب) التعرق المتوازى (Parallel venation) : وهو الغالب فى ذوات الفلقة الواحدة ، وفيه تكون العروق الظاهرة متوازية ، وقد يكون التعرق المتوازى طولياً – وهو الغالب – إذا كانت العروق الجانبية موازيه لحافة الورقة وللعرق الوسطى وممتدة من قاعدة النصل إلى قته كما فى أوراق الشعير (شكل ٤٩) والقمـــح والذرة وغيرها من النجيايات ، أو يكون مستعرضا إذا خرجت العروق الجانبية من العرق الوسطى وتعامدت عليه ، وإمتدت أفقيا إلى الحافة بحيث يوازى بعضها بعضا ، ومن أمثلة هـــذا النوع من التعرق أوراق الموز (شكل ٤٩ : ب) .

(شكل ٤٩)

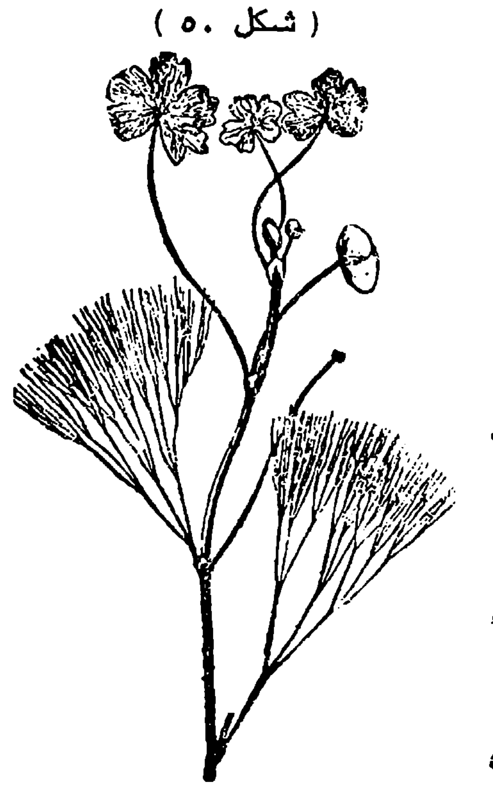


التعرق المتوازى : (ا) ورقة الشعير تبين التعرق المتوازى الطولى ، (ب) ورقة الموز تبين التعرق المتوازى المستعرض .

التباين الورقى :

يحمل كل نبـــات عادة نوعا واحـــداً من الأوراق ، يميزه عن

(شكل ٥٠)



جزء من نبات الأقحوان المائى يحمل نوعين من الأوراق أحدهما يطفو فوق سطح الماء وهو قليل التجزؤ، والآخر مغمور فى الماء وهو متجزىء تجزءا شديدا إلى خيوط رفيعة.

غيره من النباتات، بيد أن هناك نباتات يحمل كل منها أكثر من نوع واحد من الأوراق، وتعرف هذه الظاهرة بالتبـــاين الورقى (Heterophylly)، وتحدث كثيراً فى النباتات المائية بنوع خاص، كنبات الأقحوان المـــائى (Ranunculus aquatilis)، إذ يحمل هذا النبات نوعين من الأوراق، مغمورة وطافية. أما الأوراق المغمورة فمجزأة النصـــل بغزارة إلى أجزاء رفيعـــة كالخيوط (شكل ٥٠)، أما الأوراق الطافية فعريضة النصل نسبيا قليلة التجزؤ. وفى نبات القطن يحمل النبـــات الصغير أوراقا بسيطة قلبية الشـــكل مستوية الحافة، وأما النبات البالغ فيحمل أوراقاً راحية التفصص. وكذلك فى نبات الفول تختلف الأوراق الأولية من وجوه كثيرة عن الأوراق التى ينتجها النبات البالغ، كما سبق وذكرنا فى الباب الثالث.

عمر الورقة :

تعيش الورقة فترة وجيزة إذا قورنت بالنبات الذى يحملها. معظم الأوراق لا تعمر أكثر من فصل نمو واحد، تجف بعده وتسقط، وتنقسم النباتات من هذه الوجهة عادة إلى قسمين : نباتات دائمة الخضرة (Evergreen)، وهى التى تحتفظ بأوراق خضراء طوال العام، كأشجار الكافور والموالح، ونبـــاتات متساقطة الأوراق (Deciduous) وهى التى تسقط أوراقها فى الخريف والشتاء، وتكون أوراقاً جديدة فى الربيع التالى تستمر إلى نهاية الصيف، كالتوت والحور. وليس معنى دوام الخضرة فى نباتات القسم

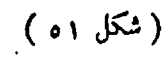
الأول أن الأوراق الخضراء تعمر طول حياة النبات ، ولكن معناه أنها لا تسقط جميعها فى وقت واحد ، إذ أن لكل ورقة عمراً محدوداً ،قد يكون فصل نمو واحد أو أكثر ، ولكن فترة الحياة يختلف تاريخها فى الأوراق المختلفة ، فهى تسقط وتتكون فى أوقات متباينة .

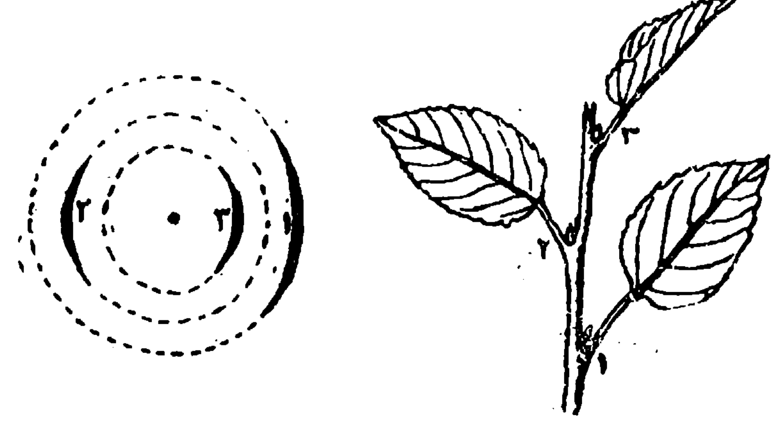
على أن الأوراق الخضراء تظل على النبات فترة أطول فى المخروطيات (Conifers) — وهى قسم من أقسام النباتات عاريات البذور كالصنوبر— منها فى النباتات كاسيات البذور . وفى أحد النباتات معراة البذور ، وهو نبات « ولوتشيا » (Welwitschia) ، توجد ورقة واحدة يحملها النبات طول حياته التى قد تمتد إلى مائة عام .

توزيع الأوراق على الساق (Leaf arrangement) :

فى بعض النباتات ، كالفجل والجزر ولسان الحمل (Plantago) تكون الساق قصيرة قزمية ، وتخرج الأوراق فى مجموعة فوق الجذر الوتدى قرب سطح الأرض ، وتسمى لذلك أوراقاً جــذرية (Radical leaves) . وفى نباتات أخرى — كالملوخية والفول — تكون الساق طويلة ، وتخرج منها الأوراق على التعاقب ، تفصلها سلاميات واضحة وطويلة نسبياً ، ولذلك تظهر متفرقة بعيدة عن الجذر وليست فى مجموعات . وتعرف بالأوراق الساقية (Cauline) .

وتتوزع الأوراق الساقية على الساق فى ترتيب يختلف باختلاف النباتات، ففى كثير منها تخرج ورقة واحدة من كل عقدة ، وتتبادل الأوراق المتعاقبة الموضع على محيط الساق ، حتى لا يظلل بعضها بعضا (شكل ٥١) ، ويسمى التوزيع فى تلك الحالة توزيعاً متبادلا (Alternate arrangement) ، ومثال ذلك الفول والملوخية والقطن . وفى نباتات أخرى تخرج ورقتان متقابلتان من كل عقدة ، فيسمى التوزيع متقابلا "Opposite" ، كما فى الياسمين الزفر (Clerodendron) ، وفى هــذه الحالة تــكون الأزواج المتعاقبة غالباً فى مستويات متعامدة ، بحيث إذا اتجهت الورقتان المتقابلتان فى إحدى العقد


(شكل ٥١)



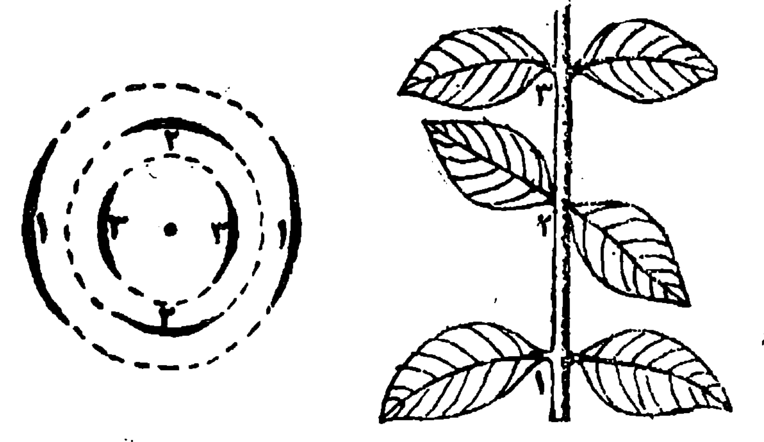
على اليمين فرع يحمل أوراقا وضعها متبادل ، وعلى اليسار مسقط يبين الافتراق الزاوى الأوراق (١/٢) .

شرقاً وغرباً ، اتجهت الورقتان اللتان تليانهما من أعلى ومن أسفل ناحية الشمال والجنوب ، فيقال للأوراق إذ ذاك إنهـا متقابلة متصالبة (Opposite decussate) شـكل ٥٢ ، وأحياناً تخرج الأوراق من العقـد فى محيطات سوارية ، فى كل محيط ثلاثة أوراق أو أكثر ، موزعة حول الساق عند العقد ، ويسمى نظام توزيع الأوراق فى تلك الحالة نظاماً محيطياً أو سـوارياً (Whorled or Verticillate) ، كما فى أوراق الدفلة (Nerium oleander) (شكل ٥٣) .

ويلاحظ فى حالات التوزيع المتبادل أننا لو بدأنا من أية ورقة على الساق ، وبحثنا عن الورقة التى تقع فوقها مباشرة ، وعددنا السلاميات التى تفصل الورقتين ، ثم أمررنا بعد ذلك خيطاً حول قواعد الأوراق الواقعة بينهما ، وعددنا اللفات الكاملة حول المحيط فإننا نلاحظ أن نسبة عدد اللفات إلى عدد السلاميات ثابتة فى النوع الواحد من أنواع النباتات ، وتعبر هذه النسبة عن الجزء من محيط الساق الذى يفصل بين ورقتين متتاليتين ، وتعرف بالافتراق الزاوى (Phyllotaxis) أو (Leaf divergence) .

ويمكن توضيح الافتراق الزاوى وقياسه بعمل مسقط فى ساق نبات بالغ (شكل ٥٤) أو قطاع مستعرض فى برعم خضرى ، وتمثل النقطة التى فى

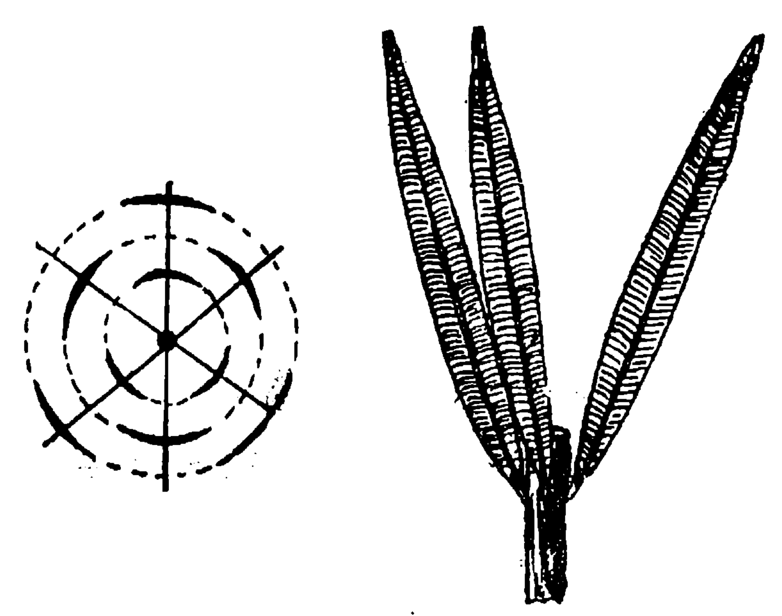
(شكل ٥٢)



على اليمين فرع يحمل أوراقا متقابلة متصالبة، وعلى اليسار مسقط يبين اتفاقها الزاوى (١/٢) .

شوارية ، فى كل محيط ثلاثة أوراق أو أكثر ، موزعة حول الساق عند العقد ، ويسمى نظام توزيع الأوراق فى تلك الحالة نظاماً محيطياً أو شوارياً (Whorled or Verticillate) ، كما فى أوراق الدفلة (Nerium oleander)

(شكل ٥٣)



على اليمين جزء من فرع من نبات الدفلة يحمل أوراقا محيطية وعلى اليسار مسقط يبين الاتفاق الزاوى (١/٢)

مركز المسقط قمة الساق ، كما تمثل الدوائر العشر المحيطة بهذه النقطة عشر عقد ، وأصغر الدوائر تمثل أقرب العقد إلى قمة الساق ، وأكبرها — وهى الخارجية — تمثل أبعد العقد عن القمة . ويتضح من (شكل ٥٤) أن الورقة

رقم ١ تقع أسفل الورقة رقم ٦ مباشرة . كما تقع الورقةرقم ٢ أسفل رقم ٧ ، والورقة رقم ٣ أسفل الورقة ٨ ، وهكذا ، أي أن هناك خمس سلاميات تفصل كل ورقة عن الورقة التي فوقها مباشرة .

فإذا علمنا أننا ندور حول محيط الساق مرتين كاملتين لكي نصل من أي ورقة إلى الورقة التي فوقها ، فإن الافتراق الزاوي في هذه الحالة يكون مساوياً $\frac{2}{5}$. وفي معظم ذوات الفلقتين تكون النسبة $\frac{2}{5}$ أو $\frac{3}{8}$ ، وفي النادر تكون $\frac{1}{2}$ (شكل ٥٤) أو $\frac{1}{3}$.

(شكل ٥٤)

مسقط لنوع يبين الافتراق الزاوي .

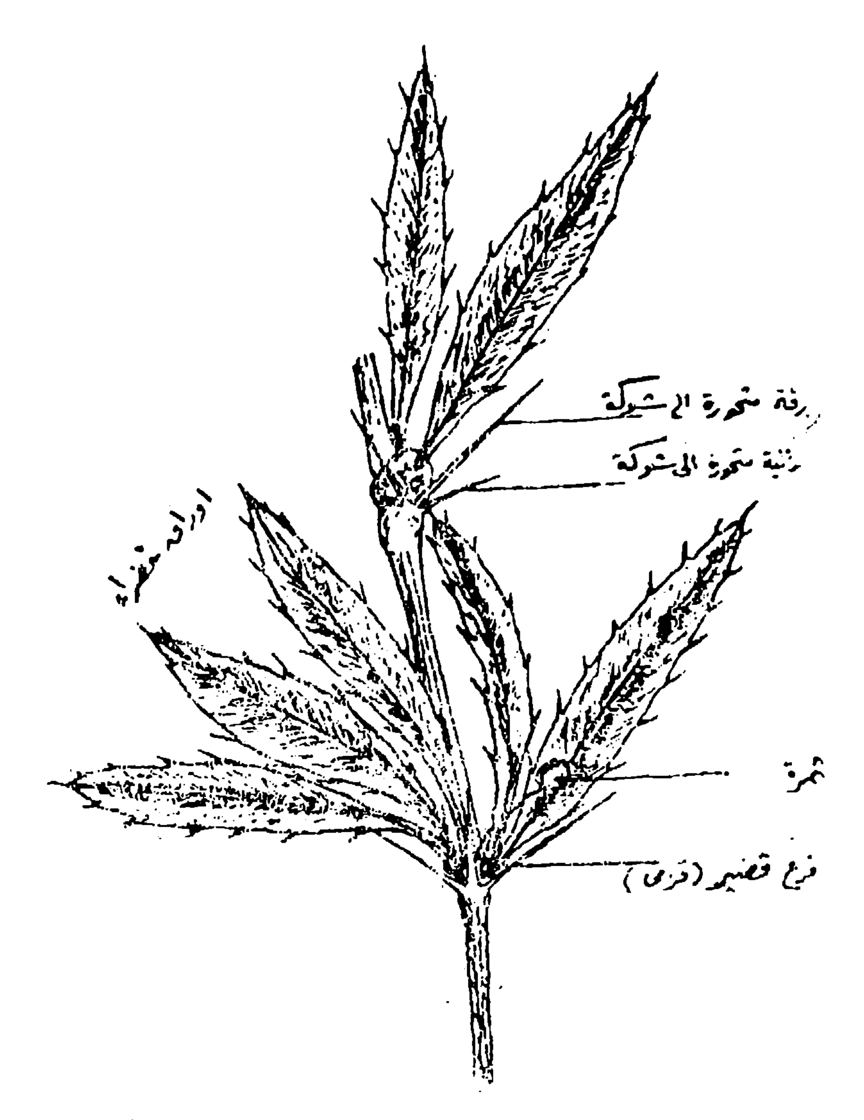
الأوراق المتحورة (Metamorphosed leaves) :

الأصل في الورقة أنها نتوء من الساق ، أخضر اللون عريض مفلطح ، ووظيفتها الأساسية هي البناء الضوئي ، إلا أن شكل الورقة جميعها أو بعض أجزائها يتحور في بعض النباتات لتأدية وظائف خاصة ، وأهم هذه التحورات ما يأتي :

١ — تتحور الورقة إلى شوكة فتصبح مدببة القمة ، وفي ذلك حماية للنباتات من حيوانات الرعي وغيرها ، كما في نبات البربري (شكل ٥٥) . وتوجد في النبات الأخير شوكة ذات ثلاث شعب عند كل عقدة من عقد الفروع الطويلة تمثل الورقة المتحورة ، أما في الموالح — كالبرتقال والنارنج (شكل ٤٦) — فتعتبر الشوكة أولى أوراق الفرع الإبطي .

٢ — تتحور الأذينات أحياناً إلى أشواك ، وتظل الورقة نفسها خصوصية عادية كما في النبق والسنط (شكل ٥٦) . وفي نبات الباركنسونيا (Parki-nsonia) — شكل ٥٧ — توجد أذينات شوكية ، ويتدبب محور الورقة المركبة في جزئه الطرفي ويتحور إلى شوكة .

(شكل ٥٥)

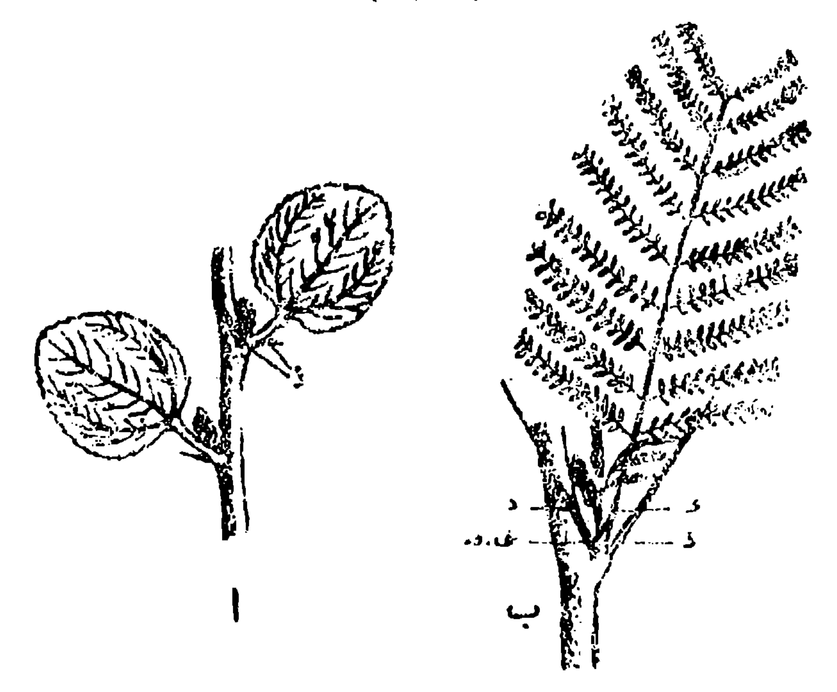


جزء من نبات البربري يبين تحورات الأوراق التي على الفروع الطويلة إلى أشواك .

٣ — تتحور الورقة إلى معلاق للتسلق ، كما فى نبات حمام البرج **(Lathyrus aphaca)** . وفى هذا النبات تكبر الأذينتان فى الحجم لتؤديا وظيفة التمثيل عوضاً عن الورقة المتحورة ، أى أنهما تتحوران إلى عضوين ورقيين (شكل ٥٨ : أ) .

٤ — تتحور الوريقات فى الورقة المركبة إلى معاليق للتسلق ، كما فى نبات بسلة الزهور (شكل : ٥٨ ب) . وفى هذا النبات أيضاً تكبر الأذينات وتتفلطح ، وتصبح ورقية لتؤدى وظيفة التمثيل ، بينما تظل الوريقات السفلى خضراء غير متحورة .

(شكل ٥٦)



جزء من نبات النبق (ا) والسنط (ب) يبين تحور الأذينات إلى أشواك ، (ذ) أذينة ،

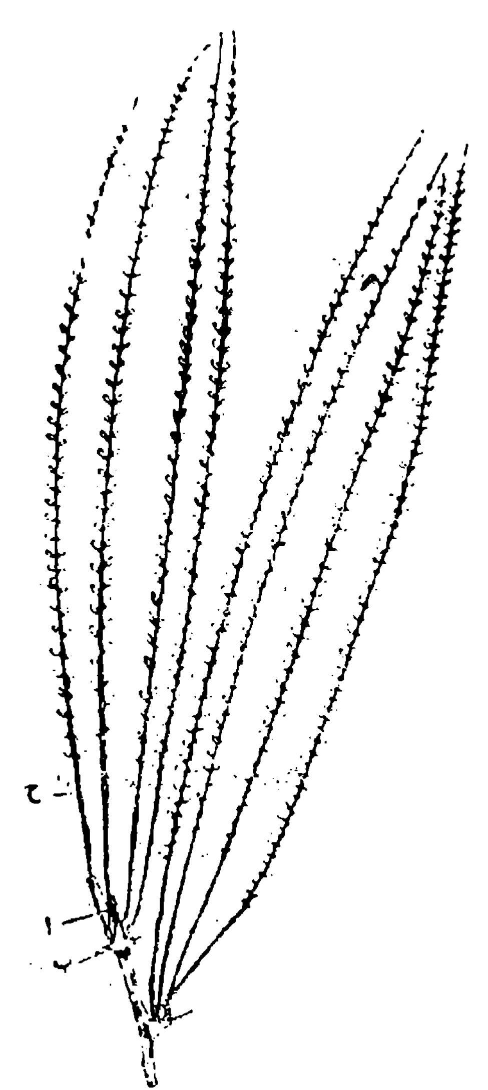
٥ — تتحور الأذينات فى بعض النباتات إلى معاليق كما فى نبات سميلاكس (Smilax) (شكل ٥٨ : ج) .

٦ — تتحور الأوراق فى بعض النباتات إلى أعضاء متشحمة ، لاختزان الماء أو المواد الغذائية ، مثال ذلك أوراق الأبصال التى تختزن فيها مواد غذائية مدخرة وأوراق الرطريط (Zygophyllum coccineum) والغاسول (Mesembryanthemum) التى تختزن فيها الماء . والرطريط والغاسول جنسان من أجناس النباتات الصحراوية ، وورقة الرطريط (شكل ٥٩) مركبة فى معظم أنواعه ، خضراء مؤذنة ذات وريقتين ، والعنق والوريقتان عصيرية لاختزانها الماء ، أسطوانية الشكل .

٧ — يتفلطح عنق الورقة فى بعض النباتات ، بدلا من أن يكون أسطوانياً كما هى العادة ، ويصبح ورقياً يقوم بوظيفة التمثيل كما يحدث فى بعض أنواع السنط (Acacia sp.) (شكل ٦٠) ، ويصحب هذا التحور عادة اختزال النصل ، ويسمى العنق المتحور على هذا النحو عنقاً ورقياً (Phyllode)

وتتخذ الأعناق الورقية غالباً وضعاً رأسياً بدل أن تمتد أفقية كالأوراق، وتحميها ذلك عادة من الضوء الساطع والنتح الشديد.

(شكل ٥٧)



جزء من ساق نبات الباركنسونيا يبين تحور محور الورقة المركبة (ا) وأذينتيها (ب) الى أشواك، ويحمل كل محور زوجين من الوريقات الريشية (ح).

٨ — تتحور الأوراق فى بعض النباتات إلى أشكال شتى لتؤدى أغراض التغذية الشاذة، ومن أمثلتها أوراق النباتات آكلة اللحوم، التى تتحور إلى قدور أو تتغطى بشعور حساسة أو زوائد لاذعة لتؤدى وظيفة اقتناص الحيوان وسنتحدث عن بعض هذه النباتات بشىء من التفصيل.

النبنتس (Nepenthes) :

فى هذا النبات يتفلطح نصل الورقة عند القاعدة ويستطيل عرقها الوسطى خارج النصل ويصبح مجوفاً عند نهايته فى صورة قدر له غطاء (شكل ٦١) وتفرز الورقة رحيقاً حلو المذاق يجذب الحشرات، وعندما تدخل الحشرات القدر يتعذر عليها الخروج منه وتسقط فى القاع، ويرجع ذلك إلى التركيب الخاص للجدار الداخلى. إذ أنه يتغطى بحراشيف عليها مادة شمعية تنزلق عليها رجل الحشرة، وقد توجد بعض الزوائد التى تتجه إلى أسفل، ويتجمع فى قاع القدر سائل يأتى معظمه إما من ماء المطر أو تفرزه الورقة. وتغوص الحشرة فى هذا السائل وتبقى حتى تتحلل بفعل الإنزيمات، وبذلك يسهل امتصاص بعض نواتج التحلل.

(شكل ٥٨)

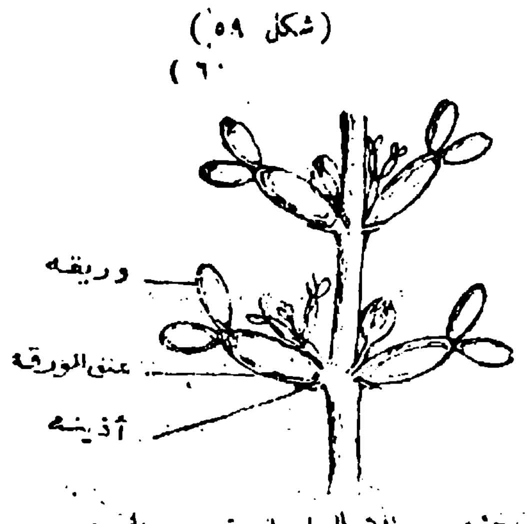


التحورات المختلفة لأجزاء الورقة : (أ) جزء من نبات حام البرج وقد تحولت فيه الأوراق الى محاليق والأذينات إلى أعضاء ورقية ، (ب) جزء من نبات بسلة الزهور وقد تحولت فيه الأذينات الى أعضاء ورقية والوريقات الطرفية الى محاليق ، (ج) جزء من نبات سميلاكس وقد تحورت فيه الأذينات الى محاليق

الدروسيرا (Drosera) :

تتغطى أوراق هذا النبات بشعيرات فريدة في نوعها ، يتركب الواحدة منها من عنق ينتهي برأس شكل (٦٢) يفرز مادة لزجة تغطي سطحه ، وإذا هبطت حشرة على هذه الشعيرات التصقت بها ، وعندئذ يزداد إفراز المادة اللزجة كما تتنبه جميع أجزاء

(شكل ٥٩)
(٦٠



جزء من نبات الرطريط وترى به الأوراق العصرية المركبة بأعناقها ووريقاتها الأسطوانية

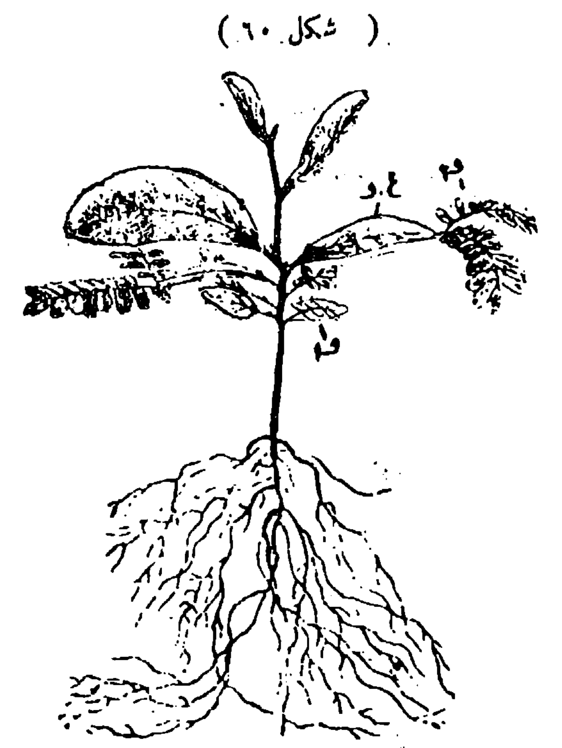
الورقة ، وينشأ عن ذلك انحناء الشعيرات الأخرى للداخل حتى تلامس جسم الفريسة. وبعد بضع دقائق تكون الحشرة محاطة إحاطة تامة بكثير من الشعيرات التي تغمرها بالسائل اللزج الذي تفرزه ، ويحتوي هذا السائل على إنزيم يهضم البروتينات ويحيلها إلى مواد يسهل امتصاصها. وقد تستغرق عملية الهضم عدة

أيام ، وبعدها تعود الشعيرات ببطء إلى وضعها الأصلى ، وبذلك تتأهب لاستقبال فريسة أخرى .

الديونيا (Dionaea) :

يتركب نصل الورقة من صمامين يتحركان على طول العرق الوسطى (شكل٦٣). وينطبقان أحدهما على الآخر عندما تلمس الحشرة شعيرات خاصة توجد على السطح العلوى أو الداخلى للنصل ، وتتم هذه الحركة بسرعة فائقة بحيث لاتستغرق

(شكل ٦٠)



بادرة أحد انواع نبات السنط ، أوراقها الاولى (و ١) ريشية والتالية (و ٢) ريشية ثنائية ، الشكل متواعنق ورقى (م. و) وورقتان .

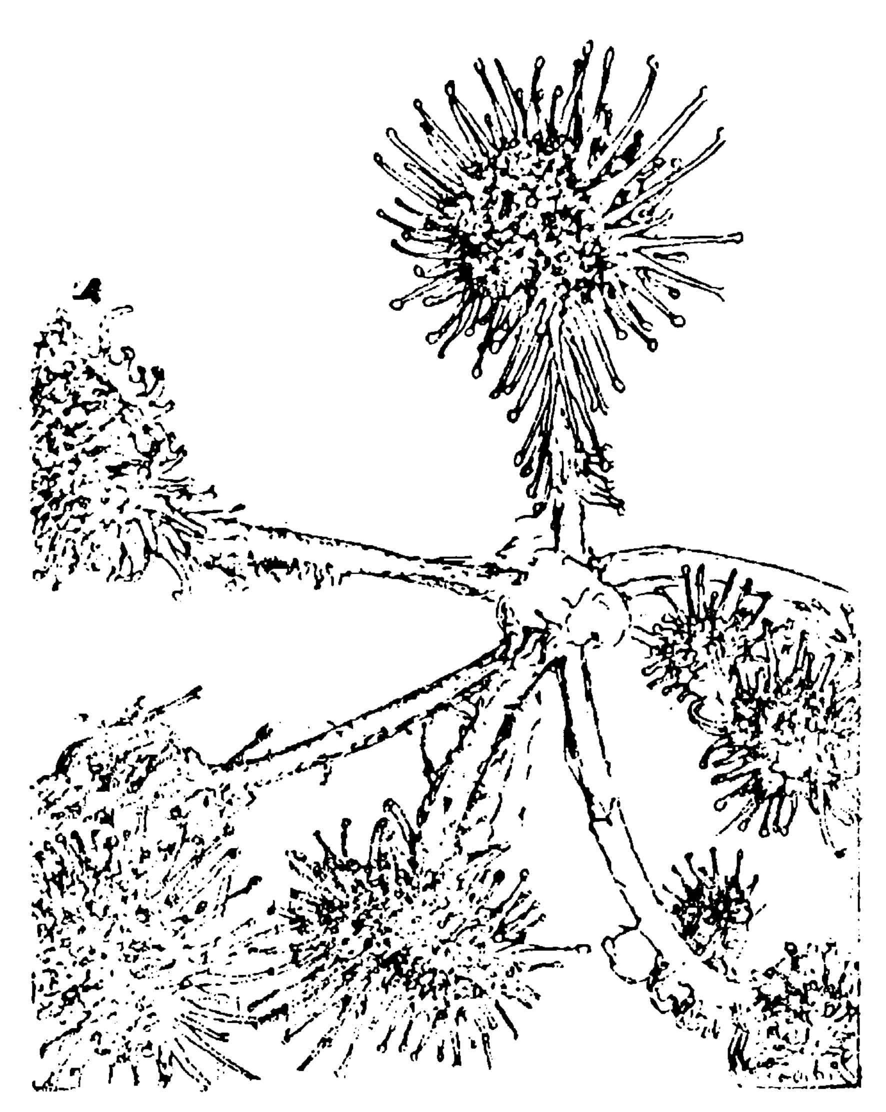
(شكل ٦١)



الى اليسار نبات النبنش يتدلى منه عدد من القدور ، والى اليمين هيكل يبين تركيب القدر (عن ستراسبرجر).

أكثر من ثانية ، وعنـد حافة النصل تخرج أشواك على هيئة أسنان طويلة تتعشق مع بعضهـا البعض عنـدما ينطبق نصفا النصل فتمنع الفريسة من الهرب ، وبذلك تبقى الحشرة حتى تفرز الورقة الإنزيمات التى تهضمها ثم تمتص نواتج التحلل .

(شكل ٦٢)



جزء من نبات الدروسيرا يبين بعض الأوراق قبل التفاف المعترة والبعض الآخر بعد التفافها .

حامول الماء (Utricularia) :

توجد أجزاء هذا النبات مغمورة فى الماء ، ويحمل النبات تراكيب عديدة

تشبه الأكياس تعرف بالمثـانات (Bladders) كما فى (شكل ٦٤ : أ) ، ولكل منها فتحة ضيقة ولها باب يفتح إلى الداخل فقط (شكل ٦٤ : ب) يساعد على اصطياد الحيوانات المائية الدقيقة ، تحاط الفتحة والباب بشعيرات ، وعنـدما يلامس الحيوان المائى شعيرات خاصة تقع عند الفتحة يصبح الباب حراً فى حركته إلى الداخل ، ومن ثم يندفع الماء بما يحمل من كائنات داخـل المثانة ، حيث تحجـز حتى تتحلل ثم تمتص ، ويوجـد على السطح الداخلى للمثانة عدد من الشعيرات المتشعبة .

(شكل ٦٣)

(ابات الديونيا)

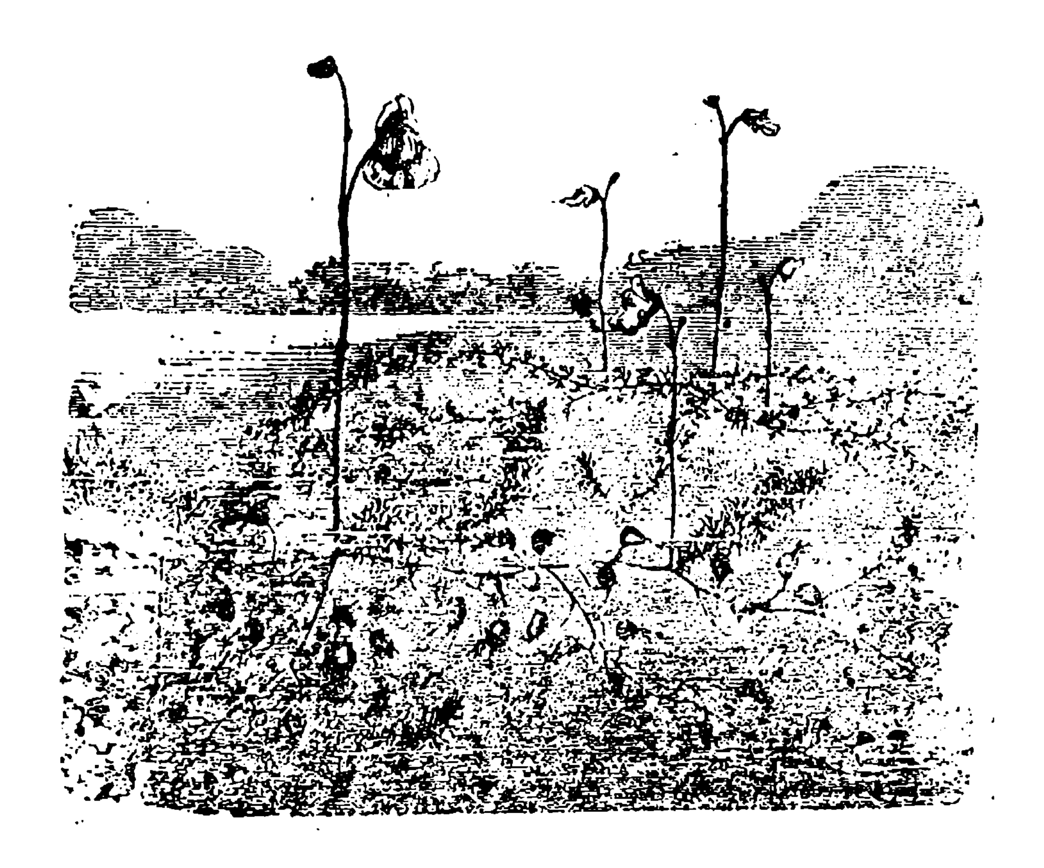
(صور الأوراق)

للأوراق النباتية صور عديدة . نلخصها فيما يأتى :

١ – **الفلقات** (Cotyledons) .

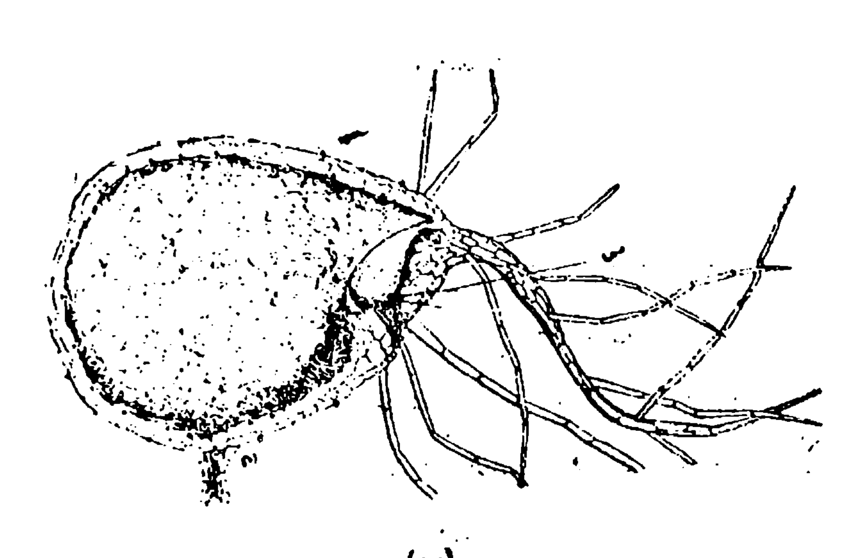
٢ – **الأوراق الأولية** (Prophylls) : وهى – كما أوضحنا فى الباب الثالث – أولى الأوراق التى يكونها المجموع الخضرى فى حالات الإنبات الأرضى كإنبات بذور الفول ، وعددها اثنتان متبادلتان ، وتختلفان اختلافاً جوهرياً عن الأوراق التى يعطيها النبات البالغ . فى الفول تكون الأوراق الأولية بسيطة غير مؤذنة ولا معنقة ، صغيرة الحجم عريضة القاعدة ، بينما الأوراق التى يكونها النبات بعد ذلك تكون كبيرة الحجم مركبة ، كما أنها تكون مؤذنة معنقة .

(شكل ٦٤)



(ا)

نبات حامول الماء يحمل عدة مثانات مغمورة تحت سطح الماء .



(ب)

تركيب المثانة في حامول الماء : (ش) شعيرة متشعبة توجد على السطح الداخلي للمثانة ، (س) شعيرة خاصة على الباب المصيدى .

٣ – **الأوراق الحرشفية** (Scaly leaves) : وهى أوراق غير خضراء ، خالية من الكلوروفيل ، ولذلك لا تؤدى وظيفة البناء الضوئى ، وقدتكون بيضاء غشائية فى بعض النباتات ، أو تكون ملونة باللون البنى أو الأسمر أو بلون باهت . وأهم وظائفها الوقاية ، فهى تغلف البراعم الشتوية لحمايتها أثناء فصل الركود ، ومن وظائفها أيضاً اختزان المواد الغذائية ، كما فى الأبصال . وتكثر الأوراق الحرشفية بنوع خاص على السيقان الأرضية ، لاحتجابها عن الضوء ، كما أنها توجد أيضاً على السيقان الهوائية فى بعض النباتات ، كالسفندر والمهلنبكيا ، حيث تخرج من آباطها السوق المتحورة .

٤ – **الأوراق الخوصية** (Foliage leaves) : وهى الأوراق الخضراء العادية التى يحملها النبات الأخضر فى أجزائه الهوائية المعرضة للضوء ، وتعتبر الأعضاء الأساسية فى عملية البناء الضوئى .

٥ – **الأوراق الزهرية** (Floral leaves) : وهى الأوراق المكونة للمحيطات الزهرية ، وكذلك الأوراق المساعدة التى تؤدى وظائف إضافية فى الأجزاء الزهرية للنبات خارج الزهرة نفسها ، أما الأوراق الزهرية الأصلية فهى السبلات والبتلات والأسدية والكرابل ، وسنتحدث عنها بالتفصيل فى مكان آخر . وأما الأوراق الزهرية الإضافية فتتميز إلى الصور الآتية :

(ا) **القنابة** (Bract) : وهى ورقة توجد الزهرة فى إبطها ، وتكون خضراء كورقة خوصية عادية فى بعض النباتات ، كحنك السبع (Antirr-hinum) مثلا ، أو ملونة زاهية اللون كما فى الجهنمية (Bougainvillea) .

(ب) **القنيبة** (Bracteole) : وهى ورقة زهرية إضافية ، أصغر من القنابة . وتوجد على عنق الزهرة ، وقد تكون خضراء أو ملونة ، ويحمل العنق عادة قنيبتين فى وضع جانبى .

(ج) **القلافة** (Involucre) : وهى مجموعة من القنابات تنتظم فى محيط أو أكثر حول النورة ، وتوجد بنوع خاص فى الفصيلتين المركبة والخيمية ،

فنورة الفصيلة المركبة — كعباد الشمس مثلا — هامة تحيط بها قلافةمن قنابات خضراء أو ملونة ، أو حراشيف غشائية جافة ، أو غير ذلك . وتقع القلافة خارج الأزهار الشعاعية . وفى بعض النباتات توجد زهرة من هذه الأزهار فى إبط كل قنابة من قنابات القلافة ، على أن الغالب ألا تتفق قنابات القلافة مع الأزهار لا فى العدد ولا فى الموضع .

(د) **القنبعة** (Glume) : القنابع أوراق زهرية مساعدة ، خاصة بالنباتات النجيلية — كالقمح والشعير — وهى توجد على السنابل فى الناحيتين الظهرية والبطنية للسنيبلات ، كما تحيط أيضاً بالأزهار .

(هـ) **القينوة** (Spathe) : وهى ورقة زهرية كبيرة الحجم ، تخلف النورة من جميع نواحيها عدا ناحية واحدة ، وتعرف النورة فى تلك الحالة بالنورة الإغريضية أو القينوية (spadix) ، وتتكون من شمراخ لحمى غليظ يحمل أزهاراً وحيدة الجنس . وسنتحدث عن هذه النورة بشىء من التفصيل فى باب لاحق .

* * *

القسم الثــانى

(التر كيب الداخلى للنبات)

الباب السابع

التركيب الدقيق للخلايا النباتية

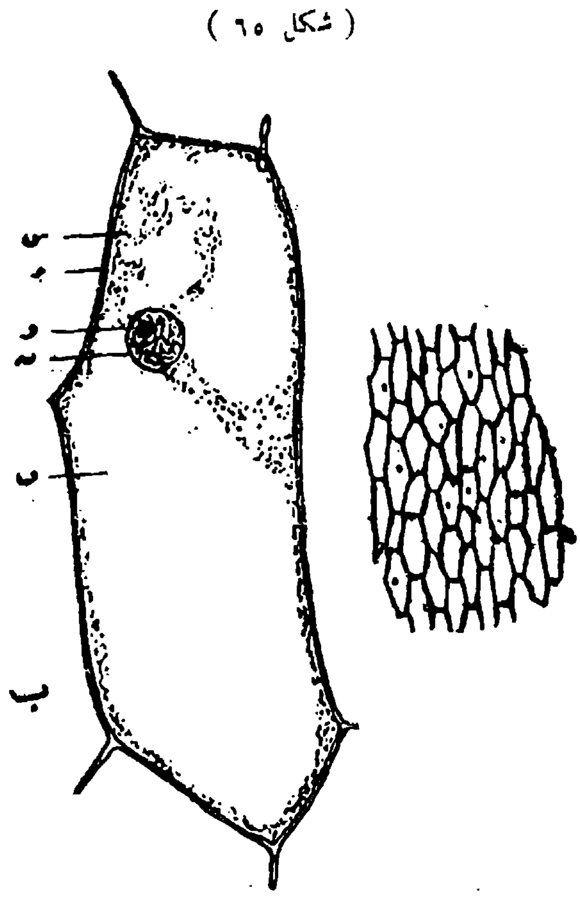
يتكون الكائن الحي – حيواناً كان أو نباتاً – من وحدة أو أكثر من الوحدات الدقيقة المجهرية ، تعرف بالخلايا (Cells) ، ويوصف الكائن بأنه وحيد الخلية (Unicellular) إذا تكون من خلية واحدة ، ومتعدد الخلايا (Multicellular) إذا تكون من أكثر من خلية . وللخلايا فجوات دقيقة مستديرة أو مضلعة ، تفصلها حواجز رقيقة ، فتبدو كغرف متراصة تشبه خلايا النحل (شكل ٦٥ : أ) . وأول من اكتشف هذا التركيب الخلوى للنبات هو روبرت هوك الانجليزى عام ١٦٦٧ ، وأطلق على الوحدات التشريحية اسم « خلايا » لشدة مشابهتها لخلايا النحل . على أن التركيب التفصيلي للخلايا لم يبدأ التعرف عليه إلا حوالى منتصف القرن الماضى ، بعد أن اخترع المجهر وانتشر استعماله وقويت عدساته ، حتى أصبح أداة هامة فى دراسة الخلايا والأنسجة .

وينشأ كل كائن حى – مهما كبر حجمه – من خلية واحدة مجهرية الحجم . تنقسم مرة بعد أخرى لتعطى تلك الكثرة الهائلة من الخلايا ، ذات الأشكال والأحجام المختلفة ، التى يتكون منها جسم النبات أو الحيوان . وتختلف أحجام الخلايا النباتية وأشكالها اختلافاً كبيراً ، فغالبيتها صغيرة لا ترى إلا بالمجهر ، ولا تتجاوز أبعادها بضعة ميكرونات (١) ، بل إن بعض أنواع البكتيريا لا تزيد خلاياها على ميكرون واحد ، على أن هناك من الخلايا ما تصل أطوالها إلى سنتيمتر أو بضعة سنتيمترات كشعيرات القطن وألياف بعض النباتات ، وهذه يمكن رؤيتها بالعين المجردة . كذلك تختلف أشكال الخلايا النباتية اختلافاً كبيراً ، فمنها الكروية والمكعبة والمستطيلة والمضلعة ومدببة الأطراف وذات الأطراف المستديرة أو المستوية .

---

(١) الميكرون (micron) جزء من ألف جزء من المليمتر .

(شكل ٦٥)



منظر سطحى لخلايا بشرة الحراشيف العصيرية فى البصل : (ا) منظر الخلايا كما تبدو تحت القوة الصغيرة للمجهر ، (ب) خلية واحدة تحت القوة الكبيرة : (جـ) جدار خلوى ، (س) سيتوبلازم ، (ف) فجوة عصارية ، (ن) نواة ، (و) نوية (عن فولر وسالسبورى) .

وتتركب الخلية النباتية (شكل ٦٥ : ب) من جزئين رئيسيين ، هما البروتوبلاست (Protoplast) والجدار الخلوى (Cell wall) أما البروتوبلاست فهو كتلة من مادة حية تعرف «بالجبلة» أو «البروتوبلازم» (Protoplasm) ؛ وتركيبها الكيميائى معقد غاية التعقيد ، ويمكن اعتبارها خليطاً من البروتينات والمواد الدهنية والماء والأملاح والكربوإيدراتات وتدخل فى تركيبها عناصر الكربون والأيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت والفسفور . والبروتوبلازم مادة غروانية معقدة ، لها مثل قوام زلال البيض ، وتحوى عدداً كبيراً من الحبيبات الدقيقة المبعثرة التى يمكن اعتبارها مواد غذائية ، أو من فضلات التحول الغذائى . أما الجدار الخلوى فهو غلاف من مادة غير حية ، أكثر صلابة وتماسكاً من البروتوبلازم ، يتركب أساساً من مادة السليلوز (Cellulose) ، وهى إحدى الكربوإيدراتات عديدة التسكر . ووظيفة الجدار تغليف البروتوبلاست وحمايته .

(الخلايا النباتية بدائية وحقيقية النواة)

هناك طرازان من الخلايا يختلفان فى التركيب اختلافاً أساسياً ، بحسب مدى بدائية أو تقدمية الأقسام المختلفة التى تتضمنها المملكة النباتية ، وهما :

١ — خلايا بدائية النواة (Procaryotic cells) .

٢ — خلايا حقيقية النواة (Eucaryotic cells) .

وهذان الطرازان يختلفان بدرجة كبيرة بحيث تنتمى الكائنات التى تتركب أجسامها من أحد طرازى الخلايا إلى قسم مستقل بذاته ومنفصل تمام الانفصال عن قسم الكائنات التى تتركب أجسامها من الطراز الآخر من الخلايا ، وبذلك نشأ قسمان مميزان من الكائنات ، يعرف أحدهما باسم « بدائيات الأنـــوية » (Procaryota) ويعرف الآخر باسم « حقيقيات الأنوية » (Eucaryota) .

وتحتوى « حقيقيات الأنوية » عادة على نواة محددة ومجسدة ومحاطة بغلاف غشائى هو الغشاء النووى ، وتظهر بالنواة أثناء الانقسامين الفتيلى (Mitosis) والاختزالى (Meiosis) صبغيات (Chromosomes) محـــددة الشكل والعدد وقابلة للاصطباغ ، بينما لا تحتوى « بدائيات الأنوية » إلا على كروماتين متفرق الأجزاء قابل للاصطباغ ولكنه يفتقر إلى غلاف غشائى ولا يكون صبغيات محددة العدد والأشكال ، وهناك الكثير من الجدل حول طريقة أداء كل من هذين الطرازين من الخلايا لوظائفه ، وحول الصلة التطورية بينهما فيما يختص باحتمال اشتقاق أحد الطرازين من الآخر فى وقت ما فى الماضى .

(أولا) الخلية بدائية النواة (Procaryotic cell)

يستطيع حالياً المتخصص فى المجهر الإلكترونى أن يدرس بالتفصيل الكبير التركيب الدقيق لأصغر طرز الخلايا المعروفة ، وهى من نوعية الخلايا بدائية الأنوية ، وهى خلايا متعضيات وحيدة الخلية ومفرطة البدائية وعديمة الجدار

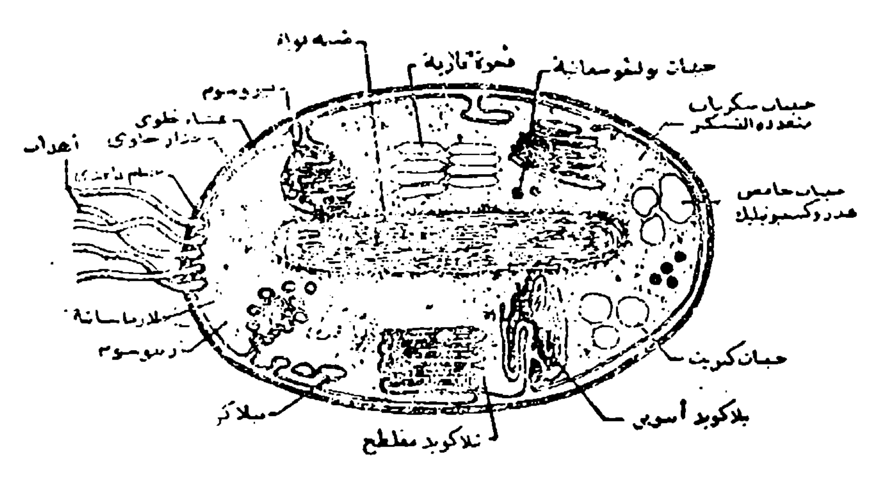
تعرف باسم « الميكوبلازمات » (Mycoplasmas) ، عزلت لأول مرة من مواشى مصابة بمرض «ذات الجنب والرئة» (Pleuropneumonia) الذى يسبب اندماج الغشاء الجانبى للرئة ويؤدى إلى موت هذه الحيوانات ، وسميت حينذاك باسم «متعضيات البلبرونيمونيا» (Pleuropneumonia organisms) نسبة إلى ما تسببه من أمراض، ثم عزلت هذه المتعضيات بعد ذلك من التربة ومياه المجارى ومن الأغشية المخاطية المصابة فى الإنسان والحيوان ، وبسبب مشابهة الأخيرة للمتعضيات المعزولة قبل ذلك من المواشى فإن الميكروبلازمات تعرف كذلك باسم « المتعضيات الشبيهة بالبلبرونيمونيا » -Pleuropneumonia) (Like Organisms ويرمز لها بالحروف(PPLO) ، وتنتمى هذه المتعضيات — مثلها كمثل البكتريا — إلى مجموعة الفطريات الانشطارية (Schizomycetes) .

وهناك نوع من بين أنواع الميكوبلازمات يعرف باسم « ميكوبلازما جاليسبتيكم » (Mycoplasma gallisepticum) ، تشبه خلاياه قطرات الدموع فى شكلها ، وقد أثار صغر هذه الخلايا الكثير من التساؤلات ، من بينها على سبيل المثال ما إذا كان مثل هذا الجهاز الحى الصغير يمتلك من المقومات الرئيسية ما تمكنه من ممارسة جميع الأنشطة الخلوية التى تمارسها الخلايا الأكبر حجماً ، وما إذا كانت كمية المادة الحاوية الضئيلة محددة لنشاط مثل هذه الخلايا بحيث تؤدى وظائفها بطريقة أكثر بساطة مما تؤديها طرز الخلايا الأكبر حجماً ، وتساؤل آخر عن الحدود البيولوجية لأحجام الخلايا الحية ، وقد اقترح اعتبار الحد الأدنى لحجم الخلايا الحية — من الناحية النظرية — هو أصغر أحجام المتعضيات الشبيهة بالبلبرونيمونيا ، وهو قطر حوالى ٠,١ ميكرون .

وحتى بدون اعتبار تفصيلى للوظيفة فإنه يمكن افتراض أن المكونات الأساسية لأصغر الخلايا الميكوبلازمية هى أيضاً مكونات أساسية لأية خلية حية (شكل ٦٦) ، وهذه المكونات الأساسية هى :

١ — غشاء محدد — هو الغشاء البلازمى (Plasmalemma) يفصل مابين الخلية والوسط الخارجى .

(شكل ٦٦)



تركيب الخلية بدائية النواة

(٢) أحماض نووية ، وبوجه خاص « حامض دى أكسى ريبونيوكاييك (Deoxyribonucleic acid) وحامض الريبونيوكلييك (Ribonucleic acid) ، ويشار للحامض الأول عادة بالرمز (DNA) وللحامض الثانى بالرمز (RNA).

(٣) تراكيب دقيقة تعرف باسم الريبوسومات (Ribosomes) .

(٤) بروتينات ذائبة ومواد غذائية أيضية كالسكريات والدهون .

وينتمى إلى بدائيات النواة (Procaryota) — بجانب الميكوبلازمات — كل من البكتيريا والطحالب الخضر المزرقة ، إلا أن خلاياها تكون أكبر وأكثر تعقيدا من الميكوبلازمات ، ولكن لبعض هذه الكائنات البكتيرية والطحلبية جهاز خلوى راقى التخصص ، برغم خلوها من العضيات المحددة المتخصصة والمغلفة بأغشية والمميزة للخلايا حقيقية النواة .

الجدار الخلوى والأسواط : عادة ما تكون للخلايا بدائية النواة جدر قوية متعددة الطبقات تضفى عليها القوة والتماسك وتسبغ عليها الأشكال المميزة لها ، وتوجد فى بعض الخلايا بدائية النواة صفوف من الثقوب فى

جلدرها الخلوية : ويغلب على الظن أن التحرك الانزلاقى للخلية يحدث نتيجة لإفراز مواد مخاطية لزجة تنساب من هذه الثقوب ، وتحيط كثير من الكائنات بدائية النواة خلاياها بأغلفة مخاطية .

وتتحرك بعض الكائنات بدائية الأنوية بوساطة أسواط (Flagella) ، وهى عبارة عن خيوط منفردة أو مجدولة تنبثق من السيتوبلازم ، وتتكون هذه الأسواط من طراز واحد من البروتين يطلق عليه اسم « فلاجللين » (Flagellin) ، ويشبه البروتينات الموجودة فى عضلات الحيوان .

الأغشية البلازمية والسيتوبلازم :

رغم التشابه الشكلى للأغشية البلازمية فى الكائنات بدائية الأنوية بمثيلاتها فى الكائنات حقيقية الأنوية ، إلا أن مدى نشاطها أوسع من مدى نشاط الأخيرة بكثير ، إذ لا يقتصر نشاط هذه الأغشية فى بدائيات الأنوية على تكوين الأغلفة المحددة للخلية من الخارج بل يمتد ليشمل المشاركة فى تكوين غالبية - إن لم يكن جميع - المكونات السيتوبلازمية للخلية ، ففى البكتيرة بدائية النواة المعروفة باسم « ميكسوكوكس زانثس » (Myxo- coccus xanthus) يعتقد أن السيتوبلازم ذاته مكون من خيوط قوقعية الشكل تنشأ من السطح الداخلى للغشاء البلازمى ، وتوجد بالسيتوبلازم مواد غذائية وريبوسومات .

وتكون الريبوسومات (Ribosomes) فى الخلايا بدائية الأنوية أصغر قليلا فى الحجم منها فى الخلايا حقيقية الأنوية . وتستطيع ريبوسومات الخلايا بدائية الأنوية إنتاج ما يسمى بالميزوسومات (Mesosomes) المكونة من أنابيب ومجموعات غشائية وأقراص ، والمعتقد أن الميزوسومات تساهم فى تكسير المواد الغذائية المدخرة لتوليد طاقة فى الخلية . وفى بعض الصور المأخوذة بالجهاز الإلكترونى نشاهد الميزوسومات متصلة بكل من الغشاء البلازمى الخارجى والمادة النووية للخلية . وهناك من يعتقد أن الميزوسومات تشارك فى عمليات الانقسام الخلوية والنووية ، كما أنها تقترن

بعمليات انفصال المادة الكروماتينية وتغليفها التى تحدث أثناء تكوين الأبواغ (الجراثيم) ، وتقترن كذلك بتكوين الجدار أثناء عمليات الانقسام الخلوى المعتادة ، ويمكن اعتبار الميزوسومات بمثابة مشتقات متعددة الوظائف للغشاء البلازمى .

أشباه الجيوب أو الثيلاكويدات (Thylakoids) : فى الخلايا بدائية النواة يطلق اسم « ثيلاكويد » (Thylakoid) عادة على جهاز تمثيلى من الأغشية موجود فى وحدات تمثيلية خاصة تعد مقابلة للبلاستيدات (Plastids) فى الخلايا حقيقية النواة ، وهى هنا تتخذ شكل تراكيب غشائية مفلطحة (شكل ٦٦) . وتوجد هذه الثيلاكويدات فى الكائنات ضوئية التغذية (Phototrophs) ، وهى التى تستمد الطاقة من ضوء الشمس ، كما توجد فى الكائنات كيميائية التغذية (Chemotrophs) التى تعتمد على الطاقة الكيميائية ، ويطلق على الكائنات بدائية النواة وذاتية التغذية — التى تقوم بأكسدة مواد كيميائية غير عضوية — كالكبريت على سبيل المثال — اسم حجرية التغذية (Lithotrophs) ، فى حين يطلق على الكائنات كيميائية التغذية المؤكسدة للمواد العضوية — كالسكريات — اسم عضوية التغذية (Organotrophs) ، وتستمد الأخيرة الطاقة من مجموعة كبيرة من مختلف المواد العضوية ، وهى عادة خالية من ثيلاكويدات واضحة فى الخلية ، وعلى العكس من ذلك توجد ثيلاكويدات واضحة فى خلايا الكائنات بدائية النواة ، حجرية وضوئية التغذية ، وعادة ما تنشأ ثيلاكويدات الخلايا بدائية النواة نتيجة الانطواء الداخلى للأغشية البلازمية .

شبه النواة (Nucleoid) : يطلق اسم « شبه النواة » على ذلك الجزء من سيتوبلازم الخلية بدائية النواة المحتوى على المادة النووية ، وتكون « شبه النواة » غير منفصلة عن السيتوبلازم بغشاء نووى كما هو الحال فى نواة الخلية حقيقية النواة ، وهى تنتشر فى غالبية الخلايا بدائية النواة فى غالبية السيتوبلازم وبذلك تكون جميع المكونات الخلوية ملامسة لها أو على مقربة منها . وتختلف الكروماتين فى شبه النواة عن ذلك الموجود فى نواة الخلايا حقيقية النواة فى

كونه يظهر فى القطاعات الرقيقة – عند فحصها بالمجهر الإلكترونى – كتجمعات من الألياف ، وإذا نزعت شبه النواة الليفية وبسطت وفحصت بالمجهر الإلكترونى تبدو كخيط واحد ملتو وملتف ، يطلق عليه أحياناً اسم كروموسوم الخليـة بدائية النواة (Procaryotic chromosome) أو يعطى أحياناً أخرى اسم الحامل الجينى (Genophore) .

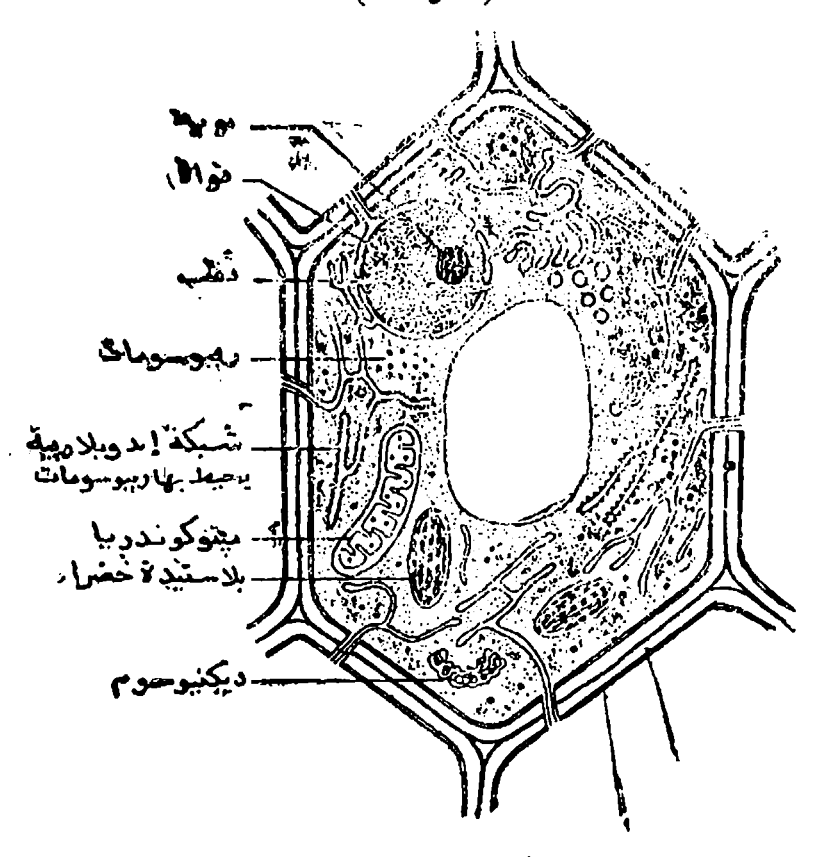
(ثانياً) الخلية حقيقية النواة (Eucaryotic cell)

المكونات الأساسية للخلايا بدائية النواة توجد أيضاً فى الخلايا حقيقية النواة ، وهذه المكونات هى : الأغشية البلازمية والأحماض النووية والريبوسومات ونواتج التحول الغذائى ، ولكنها توجد مرتبة بطريقة تختلف تماماً عن تلك الموجودة فى الخلايا حقيقية النواة . ويمكن النظر إلى الخلية حقيقية النواة على أنها مقسمة داخلياً إلى مناطق متخصصة تفصل ما بينها أغشية مختلفة ، والغشاءان المكونان لغلاف النواة هما جزء من جهاز الأغشية العام الذى يعمل على تقسيم الخلية حقيقية النواة إلى مناطقها المختلفة .

ولقد أوضح المجهر الإلكترونى أن الخلية حقيقية النواة تحتوى على عدة عضيات (Organelles) مهيأة تركيبياً للقيام بمختلف وظائف الحيـاة ، وتغلف نواتها بغشاء مزدوج ، كما تغلف العضيات هى الأخرى بأغشية ، ويوجد الحامض النووى (DNA) فى النواة وفى العضيات ، وتتميز العضيات عن بعضها البعض تركيبياً ووظيفياً ، ويتخذ الحامض النووى (DNA) فى بعض العضيات شكل خيط ملتو شبيه بذلك الموجود فى شبه نواة الخلية بدائية النواة .

ولا توجد فى الواقع خلية حقيقية النواة يمكن أن يطلق عليها اسم « الخلية النموذجية » ، بمعنى أنها تحتوى على جميع العضيات التى عثر عليها فى مختلف الخلايا ، وتتباين الخلايا فى وظائفها باختلاف تراكيبها ، أى فى نوعية العضيات الموجودة بها ، وفيما يلى أهم عضيات الخلايا حقيقية النواة (شكل ٦٧) :

(شكل ٦٧)



عضيات الخلية حقيقية النواة

١ - الجدار الخلوى - والأسواط إن وجدت - وهو شائع فى الخلايا النباتية .

٢ - الغشاء البلازمى ، ويوجد فى جميع الخلايا من نباتية وحيوانية .

٣ - السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية .

٤ - الفجوة العصارية ، وهى موجودة فى جميع الخلايا النباتية البالغة .

٥ - البلاستيدات الخضر (فى خلايا النبات الأخضر) وغيرها من البلاستيدات .

٦ - الميتوكوندريات ، وهى مراكز لتوليد الطاقة وتوجد فى غالبية الخلايا .

٧ — الليسوسومات ، وتحتوى على الإنزيمات الهاضمة .

٨ — السفيروسومات ، أو الأجسام الكروية .

٩ — السنتروسومات ، وهى أقطاب الجهاز المغزلى الذى يظهر أثناء الانقسامات الخلوية .

١٠ — الريبوسومات ، وتعمل على تخليق البروتينات .

١١ — الدكتيوسومات (أو أجسام جولجى) .

١٢ — النواة (Nucleus)

١٣ — النوية (Nucleolus)

وسنتناول هذه العضيات بالشرح تفصيلياً :

١ — الجدار الخلوى والأسواط

تتميز جميع الخلايا النباتية تقريباً بأنها ذات جدر ، والجدار الخلوى تركيب غير حي مسامى صلب ولكنه مرن إلى حد ما ، ويتمثل الجدار الخلوى فى النباتات الراقية بشبكة من لييفات دقيقة (microfibrils) سليلوزية منغمسة فى مادة أساسية تحتوى على أصماغ ومواد مخاطية ودهون وشموع . ويتكون الجدار فى الخلية الحديثة — الناتجة للتو من الانقسام الخلوى — من طبقة رقيقة تسمى « الصفيحة الوسطى » (Middle lamella) ، هى التى تفصل ما بين الخلايا المتجاورة ، وتتكون من نسبة كبيرة من المواد البكتينية لاسيما بكتات الكالسيوم والماغنسيوم ، وفيما يلى الصفيحة الوسطى تنتج الخلية حديثة العمر أولا جداراً ابتدائياً (Primary wall) يفرز كطبقة إضافية تترسب فوق الصفيحة الوسطى ، قد يصل سمكه إلى ما بين ميكرون واحد وثلاثة ميكرونات، ويتكون أساسياً من مادة السليلوز (cellulose) التى تختلط بها مواد أخرى مثل الهميسليلوز (Hemicellulose) والبكتين والبروتين .

وفى كثير من الخلايا لا يضاف إلى الصفيحة الوسطى سوى الجدار الابتدائى إلا أن هناك حالات يتكون فيها ما يسمى بالجدار الثانوى (Secondary wall) ، وذلك بعد اكتمال نمو الخلية فى الحجم وتقدمها فى العمر ، ويتركب الجدار الثانوى عادة من ثلاث طبقات تكون مادتها الأساسية السليلوز المختلط أحياناً بمواد أخرى أهمها :

أ – اللجنين (Lignin) ، وهو مادة كربو إيدراتية .

ب – السوبرين (Suberin) ، وهو مادة دهنية توجد بوفرة فى الخلايا الفلينية .

ج – الكيوتين (Cutin) ، وهو مادة شمعية .

وتترسب كذلك فى كثير من الجدر الثانوية مواد غير عضوية مثل كربونات الكالسيوم والسيليكات ، وتتغطى الخلايا المعرضة للهواء الجوى – على الأسطح الخارجية لأعضاء النباتات الأرضية – بمادة الكيوتين ، وهى مادة شمعية غير منفذة للماء .

وتوجد بالجدر الابتدائية لغالبية الخلايا مساحات رقيقة تسمى « النقر » (Pits) كما هو مبين فى (شكل ٦٨) ، وهذه النقر بها ثقوب دقيقة للغاية تمر منها خيوط سيتوبلازمية رفيعة تعرف باسم الروابط البلازمية (Plasmodesmata) تصل ما بين الكتل الحية أو البروتوبلاستات (Protoplasts) فى الخلايا المتجاورة (شكل ٦٩) ، وتساعد هذه الروابط البلازمية على انتقال المواد – وربما كذلك

(شكل ٦٨)

رسم تخطيطى يستند إلى استخدام المجهر الإلكترونى ، يبين خلية نباتية حقيقية النواه بها الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائى ، كما تظهر النقر (Pits) فى جدار الخلية .

الحوافز والمؤثرات — بين الخلايا ، وتتكون الروابط البلازمية من الأغشية البلازمية الخارجية (Plasmalemma) وأغشيـــة الشبـــكة الإندوبلازمية (Endoplasmic reticulum) معـــاً .

(شكل ٦٩)

الروابط البلازمية تخترق جدر الخلايا وتصل ما بين البروتوبلاستات في الخلايا المتجاورة

وفى الخلايا حقيقية النواة التى توجد فرادى وتنتقل من مكان إلى مكان — كما فى بعض الطحالب الخضر والدياتومات على سبيل المثال — تنتقل الخلية إما بحركة انزلاقية (Slime movement), نتيجة لما ينساب منها من مواد مخاطية وإما بوساطة أسواط تنبثق منها ، إلا أن الأسواط فى هذه الخلايا تكون أكثر تعقيداً فى التركيب من مثيلاتها فى الخلايا بدائية الأنوية المتحركة ، وإن كانت تشبهها فى الأصل ، فهى تتكون من تسعة تراكيب ليفية محيطية وتركيبين مركزيين ، ويطلق على هذه التراكيب اسم « الأنيبيبات الدقيقة » (Microtubules) . ويحاط هذا الجهاز الأنيبيبى بمادة أساسية حبيبية (Granular matrix) ، ويتغطى جميع ذلك من الخارج بالغشاء البلازمى (Plasmalemma) ، والسطح الخارجى للسوط قد يكون أملس أو يحمل شعيرات نائثة أو قشوراً .

٢ — الغشاء البلازمى (Plasmalemma) :

توجد الأغشية البلازمية (Plasma membranes) فى الخلايا النباتية والحيوانية على حد سواء ، ويحدد الغشاء البلازمى الحى الخلية من الخارج — فى كل من الخلية بدائية النواة وحقيقية النواة — وهو غشاء نصف نفاذ ، بمعنى أنه يسمح بنفاذ بعض المواد الكيميائية صغيرة الجزيئات بخاصة الانتشار بينما لا تستطيع مواد أخرى — عادة ما تكون كبيرة الجزيئات — النفاذ . ويختلف الغشاء البلازمى الخارجى عن جدار الخلية من حيث الشكل والتركيب والوظيفة ، ويكون ملاصقاً للجدار غير الحى ويفصله عن مادة الخلية الحية الموجودة بالداخل.

وليس من اليسير التمييز بين الغشاء البلازمى الخارجى وسيتوبلازم الخلية بالمجهر الضوئى العادى ، ولكن يمكن التمييز باستعمال المجهر الإلكترونى ، ويكون الغشاء البلازمى مرناً بعكس الجدار الخلوى الذى يتميز بالصلابة ، وهو رقيق للغاية لا يتجاوز سمكه ٧٥ أنجستروم ، ولذلك فهو لا يرى بالمجهر الضوئى لأن حدود الرؤية بهذا المجهر هى ميكرون واحد (أى ١٠ أنجستروم)، ولكن للمجهر الإلكترونى قوة تكبير تعادل ألف مرة قوة تكبير المجهر الضوئى ، ولذلك يتسنى باستعمال المجهر الإلكترونى رؤية الأغشية البلازمية . ويبدو الغشاء البلازمى مكوناً من طبقتين ، ويصطبغ سطحه الداخلى تحت ظروف معينة بلون أدكن مما يصطبغ به السطح الخارجى ، وإذا فصل الغشاء البلازمى الحى للخلايا حقيقية النواة وفحص — بعد تجميده بالتبريد — بدت فيه إنثناءات أو ثآليل وصفوف من حبيبات ، يتشابه فى ذلك السطح الداخلى والسطح الخارجى للغشاء المنزوع ، ولم تعرف بعد وظائف هذه الحبيبات والثآليل . ولا تحتوى الأغشية البلازمية على كربوإيدراتات ولكنها تتكون من بروتين وليبيد ، ومن حيث الوظيفة فهى ذات « نفـاذية انتخابية » (Selective permeability) ، بعكس جدار الخلية التام الإنفاذ ، ومن ثم فعندما يكون الغشاء البلازمى حياً فإنه يسمح لبعض المواد بالنفاذ خلاله بحرية تامة ، بينما تنفذ مواد أخرى بمعدل أقل نسبياً ، وهناك من المواد ما لا تستطيع النفاذ على الإطلاق ، وعندما تموت الخلية يصبح الغشاء منفذاً لجميع المواد، وتسرى على حد سواء هذه الحقيقة على جميع الأغشية الحية ، وتؤدى النفاذية الانتخابية للغشاء البلازمى إلى حدوث ظاهرة « الأزموزية » ، ومما يثبت وجود الغشاء البلازمى فى خلايا النباتات الراقية حدوث ظاهرة « البلزمة » بها عند وضعها فى محلول قوى التركيز .

وتختلف طريقة انتظام البروتين والليبيدات — المكونة للغشاء البلازمى — باختلاف النباتات ، كما تتباين باختلاف الظروف فى نفس النبات ، وتتميز البروتينات بكبر جزيئاتها المكونة من وحدات أساسية من الأحماض الأمينية (Amino acids) ، أما الليبيدات فتتكون من وحدات جزيئية من الأحماض

الدهنيـــة (Fatty acids) وتختلف الليبيدات عن البروتينات في كونها غير قابلة للذوبان في المـــاء ولكنها تذوب في المذيبات العضوية (مثل الكحول والأسيتون والإثير) .

وتتخذ طريقة ترسيب الجزيئات البروتينية والليبيدية في الأغشية البلازمية نسقاً موحداً ، بحيث تترسب الجزيئات البروتينية على السطحين الخارجيين للغشاء وتحصران بينهما طبقة جزيئات الليبيد في الوسط . ويبدو الغشاء البلازمي - في القطاعات البالغة الرقة - كخطين رفيعين (طبقتين كثيفتين) يحصران بينهما فراغاً رائقاً . ويبلغ سمك كل من الطبقتين الكثيفتين ٢٥ أنجستروم بينما سمك الطبقة الرائقة التي تقع بينهما ٣٠ أنجستروم ، أي أن سمك الغشاء الكلي حوالي ٨٠ أنجستروم ، ويمكن توضيح هذا التركيب ثلاثي الأجزاء للغشاء البلازمي بسهولة بطرق التحضير الحديثة للفحص بوساطة المجهر الإلكتروني ، ولذلك يطلق على هذا الطراز من تركيب الأغشية اسم « الغشاء الموحد » (Unit membrane) ، وفي هذا الطراز - كما سبق القول - تكون الطبقتان الكثيفتان بروتينيتين بينما تكون الطبقة الوسطى ليبيدية ، وتقع الأطراف المحبة للماء (Hydrophilic) من الجزيئات الليبيدية للخارج - أي مجاورة للبروتين ومتصلة به - بينما تتجه الأطراف الكارهة للماء (Hydrophobic) من نفس الجزيئات صوب الوسط ، ولهذا فإن الغشاء البلازمي يكون محباً للماء ومجتذبا له على كلا سطحيه .

٣ - السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية :

يعد السيتوبلازم (Cytoplasm) هو المادة الغروية الأساسية للبروتوبلازم ، ويبدو تحت المجهر الضوئي شفافاً تقريباً ولزجاً ، ويملأ في الخلايا الحديثة تجويف الخلية ، بينما يقتصر وجوده في الخلايا النباتية البالغة على طبقة رقيقة ملاصقة للغشاء البلازمي الخارجي بينما تشغل الجانب الأكبر من فراغ الخلية الداخلي فجوة مائية أو أكثر ، وتختلف درجة لزوجة السيتوبلازم باختلاف عمر الخلية ، وتتراوح نسبة الماء فيه ما بين ٨٥٪ و ٩٠٪ ، وتوجد به بروتينات ودهون وأملاح ومواد سكرية . وإذا فحصت الخلية الحية بالمجهر

الإلكترونى يتضح وجود أنيبيبات وجزيئات داخل السيتوبلازم . تكون محاطة بمادة تعرف باسم « البلازم الأساسى » (Groundplasm) تتميز بأنها حبيبية دقيقة الحبيبات ، ويعمل جهاز الأغشية — كما سبق أن ذكرنا — على تقسيم المادة الأساسية للسيتوبلازم إلى مناطق ، كما يعمل على توزيع المواد بداخلها ، ويمكن فى بعض الأحيان مشاهدة تيارات متدفقة من السيتوبلازم ومحتوياته من المواد داخل الخلية الحية ، ويطلق على هذه الحركة التدفقية للسيتوبلازم داخل الخلايا اسم « الحركة الدورانية » (Cyclosis) .

وقد أدى فحص الأنيبيبات الدقيقة — الموجودة فى السيتوبلازم — إلى افتراض أن تكون قضبانا صلبة نسبياً . وهى تمتد أحياناً موازية لبعضها البعض فيما يلى الغشاء البلازمى الخارجى مباشرة ، ولكنها توجد كذلك فى مواضع أخرى من الخلية ، وقد حملت صلابة هذه الأنيبيبات بعض علماء النبات إلى افتراض أن لها وظيفة تدعيمية للسيتوبلازم ، وأنها تعد بمثابة « هيكل دقيق » (Microskeleton) يحقق تماسك السيتوبلازم الذى يوجد به . ويفترض آخرون أن هذه الأنيبيبات الدقيقة قد تكون ذات صلة بحدوث التدفق السيتوبلازمى واتجاهه وبتحرك الأغشية السيتوبلازمية والمواد التى يحتويها السيتوبلازم .

الشبكة الإندوبلازمية (Endoplasmic reticulum) : يظهر أيضاً فى السيتوبلازم — عند الفحص بالمجهر الإلكترونى — وجود أغشية بلازمية مختلفة ، تكون متصلة ومتشابكة ، ويطلق عليها اسم الشبكة الإندوبلازمية (مبينة فى كل من الشكلين السابقين ٦٧ و ٦٨) . ويطلق اسم الشبكة الإندوبلازمية على جهاز متشعب من هذه الأغشية المتصلة ببعضها البعض ، وتوجد على السطح الخارجى لبعض هذه الأغشية حبيبات خشنة ومستديرة تقريباً يطلق عليها اسم « الريبوسومات » (Ribosomes) ، وتوجد هذه الحبيبات على سطح الغشاء المواجه للسيتوبلازم ، فتكسبه ملمساً خشناً على السطح ، ولذلك تسمى مثل هذه الشبكة باسم « الشبكة الإندوبلازمية

المتجعدة » ، إلا أن السطح يكون فى بعض أجزاء الشبكة أملس ناعماً خالياً من الحبيبات وتوصف مثل هذه الأجزاء بأنها ملساء السطح ، وتتكون الحبيبات الريبوسومية من بروتين وحامض الريبونيوكلييك (RNA) . وتتركب أغشية الشبكة الإندوبلازمية كيميائياً من ليبوبروتينات (Lipoproteins) كما هو الشأن فى سائر ما عداها من أغشية .

ويمتد الهيكل الشبكى — الذى تكونه الأغشية البلازمية — داخل الخلايا الحية من الغشاء البلازمى الخارجى المبطن لجدار الخلية حتى الغشاء النووى المستقر داخلها ، ومن المحتمل كذلك أنه يمتد إلى الخلايا المجاورة عن طريق الروابط البلازمية . وتتركب الشبكة الإندوبلازمية من فجوات أو أكياس كثيرة التفلطح ومن أنيبيبات ضيقة ، ويبدو كلا الطرازين من الشبكة الإندوبلازمية كجيوب ناتئة من غلاف النواة ، ويعتقد أن هذه الشبكة تؤدى وظيفة جهاز نقل للمواد داخل الخلايا ، بل ويمتد عملها إلى النقل بين الخلايا المتجاورة فى النسيج الواحد .

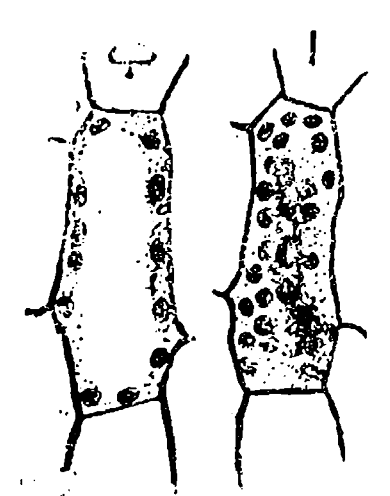
وتوجد الشبكة الإندوبلازمية فى خلايا جميع الكائنات الحية فيما عدا البكتيريا والطحالب الخضر المزرقة والطحالب الحمر وكريات الدم فى الحيوان ، ولا توجد فى هذه الأقسام نواة محددة يغلفها غشاء نووى ، ويبدو أن الغشاء النووى إنما هو جزء متخصص من الشبكة الإندوبلازمية وأنه أقرب صلة بالسيتوبلازم منه بالنواة .

(٤) فجوة الخلية :

تميز الفجوة فى الخلية (شكل ٧٠) الكثير من الخلايا النباتية ، وتشغل هذه الفجوة حيزاً كبيراً قد يصل إلى ٩٠٪ من حجم الخلية ، ونتيجة لذلك ينضغط السيتوبلازم والنواة بجوار الجدار ، وتحاط الفجوة بغشاء نصف نفاذ يعرف باسم التونوبلاست (Tonoplast) ، يعمل على الفصل ما بين هذه الفجوة وما حولها من سيتوبلازم ، ويشبه فى تركيبه الدقيق « وحدة الغشاء » التى سبق الإشارة إليها عند التحدث عن الأغشية البلازمية ، ولكنه يختلف

عنها من حيث الخصائص الفسيولوجية ، ويمثل هذا الغشاء الحد الداخلي للمنطقة السيتوبلازمية . ويلعب التونوبلاست والسيتوبلازم والغشاء البلازمي دوراً هاماً في احتفاظ الخلية باحتياجاتها المائية ، كما تسهم الفجوات في امتصاص الخلايا للماء في البذور النابتة ،وفي امتصاص الماء أثناء تكشف الخلايا المفردة ونموها ، وكذلك في الوظائف الأخرى الهامة التي يقوم بها النبات .

(شكل ٧٠)



خليتان من خلايا نبات الإلوديا في منظر سطحي (ا) وفي قطاع (ب). وترى البلاستيدات الخضر منتشرة في السيتوبلازم الجداري . وفي وسط الخلية (ب) ترى فجوة عصارية واحدة (عن فرانش وسالسبوري).

ويوجد بداخل الفجوة سائل يسمى «العصير الخلوى» (Cell sap) ، يتكون من الماء ومن مجموعة كبيرة متنوعة من المواد الذائبة منها السكريات والأملاح غير العضوية والأحماض العضوية وأملاحها والأصباغ والقلويدات (Alkaloids) ، وكذلك مواد أخرى قابلة للذوبان في الماء ، وقد توجد هذه المواد بتركيزات عالية تؤدى إلى تكوين بللورات . وأهم الأصباغ الذائبة في العصير الخلوى صبغ « الأنثوسيانين » (Anthocyanin) الذى قد يكون مركزاً في العصير الخلوى كما في بتلات الأزهار ، وقد يكون العصير الذى تحتويه الفجوة عالى الحامضية — كما في ثمار الحمضيات فإذا ما لامس السيتوبلازم سبب إتلافه ،ومن هنا تتضح فائدة الغلاف الفجوى (Tonoplast) في الحفاظ على حياة الخلية ، حيث يحول دون امتزاج العصير الخلوى شديد الحامضية بالسيتوبلازم . وعلى وجه الإجمال تؤدى الفجوة وظيفة مزدوجة ، ففيها يختزن الغذاء ، كما يختزن الماء وما فيه من ذائبات .

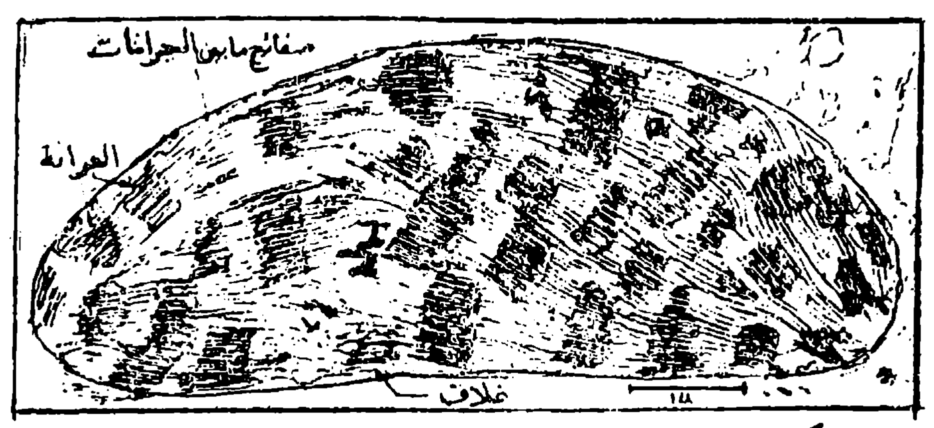
٥ — البلاستيدات الخضر وغيرها من بلاستيدات :

البلاستيدات الخضر (Chloroplasts) هي العضيات الخلوية الوحيدة

المحتوية على اليخضور (Chlorophyll) وتعد أهم أنواع البلاستيدات جميعاً ، أما الأنواع الأخرى منهـا فإما أن تكون عـديمة اللون وتعرف باسم « الليكوبلاستات » (Leucoplasts) وإما أنهـا تحوى أصباغاً غير خضراء وتعرف باسم البلاستيدات الملونة أو «الكروموبلاستات» (Chromoplasts) ، والبلاستيدات هي أكثر العضيات الخلوية وضوحاً تحت المجهر الضوئى فى الخلية النباتية ، لأنها تكون عادة ملونة ، وتعد أصباغ البلاستيدات الخضر وحدها هي التمثيلية لدورها الهام فى عملية البناء الضوئى (Photosynthesis) .

أشكال البلاستيدات الخضر : البلاستيدات الخضر حبيبات عدسية الشكل مفلطحة تقريباً ويبلغ قطرها بضع ميكرونات ، توجد متناثرة بأعداد كبيرة فى السيتوبلازم (شكل ٧٠ أ و ب) ، وفى بعض الطحالب (Algae) لا يوجـد إلا عدد قليل منها وربما يقتصر على بلاستيدة خضراء واحـدة فى كل خليـة ، قد تتخـذ شـكلا كأسياً كما فى طحلب الكلاميدوموناس (Chlamydomonas) أو نجميـاً كما فى طحلب الزيجنيما (Zygnema) أو صفيحة محورية كما فى طحلب الميوجوتيا (Mougeotia) أو حلقياً كما فى طحلب اليولوثريكس (Ulothrix) أو حلزونياً كما فى طحلب السبيروجيرا (Spirogyra) . وقد تحتوى الخلية البالغة على عـدد كبير من البلاستيدات الخضر عدسية الشكل ، يصل عددها فى بعض الأحيان إلى حوالى ٢٠٠ بلاستيدة ، ويبلغ قطر كل منها حوالى خمسة ميكرونات ويتراوح سمكها ما بين الميكرونين والخمسة ميكرونات .

تركيب البلاستيدات الخضر فى النباتات الوعائية : تتميز البلاستيدات الخضر فى النبـاتات الوعائية بأنها تكون دائمـاً داخل غشـاء مزدوج (Double membrane) نصف نفاذ ، وتكون الطبقة الخارجية لهـذا الغشاء المزدوج محدبة بينما تتميز الداخلية بما فيها من انثناءات ، وتمتد ثنياتها فى أديم البلاستيدة لاسيما فى صغرها ، ويطلق على هذه الثنيات اسم كرستات (Cristas) ، أما المادة الأساسية فيطلق عليها اسم « السدى » (Stroma) ، وتبدو تحت المجهر الإلكترونى كمساحات فاصلة أو وضاءة (شكل ٧١) ، ويجب



صورة إلكترونية دقيقة لبلاستيدة خضراء فى خلية من خلايا النسيج الوسطى لنبات الذرة .

تميز هذه المساحات الوضاءة من مساحات أخرى تبدو تحت المجهر الإلكترونى داكنة اللون وكثيفة يطلق عليها اسم « الحبوب » (Grana) ، وبسبب انثناء الغلاف فإن البلاستيدة الخضراء تبدو مظهرياً وشكلياً كالميتوكوندريات التى سنتناولها بالدراسة فيما بعد . وتتكون كل حبة (Granum) من الصفائح (Lamellae) المرصوصة بعضها فوق البعض كالأقراص ، وتتكون كل صفيحة من غشاءين ، أى أن كل حبة تمثل كومة من صفائح قرصية الشكل ثنائية الأغشية ، كما أن هناك صفائح أخرى تصل الجرانات بعضها ببعض ويطلق عليها إسم الصفائح بين الجرانية (Intergranal lamellae) ، وتوجد أصباغ البلاستيدة الخضراء وبعض الإنزيمات فى الصفائح .

وتعد صفائح الجرانات مقابلة للثيلا كويدات (Thylakoids) الموجودة فى الخلايا بدائية النواة ، وهى تحتوى مثلها على اليخضور والأصباغ الأخرى التى تتصيد الضوء للقيام بعملية البناء الضوئى . وتشغل مادة البلاستيدة الأساسية وهى السدى (Stroma) — المساحات التى تقع بين الجرانات والتى تعبرها الصفائح الموصلة مابين هذه الجرانات ، وإذا كانت البلاستيدات من الطراز الصانع للنشا فإن الحبيبات النشوية تشاهد مستقرة فى السدى خارج الحبوب ولا يحيط بها أى غشاء ، بمعنى أن الحبيبات النشوية ليست تراكيب ذوات أغشية ، وتوجد قطيرات من الليبيدات فى السدى .

البلاستيدات عديمة اللون (Leucoplasts) : هي بلاستيدات خالية من الأصباغ ، قد تكون قادرة على تكوين النشا أو غير قادرة . وعندما تكون قادرة على تكوين النشا يطلق عليها اسم « أميلوبلاستات » (Amyloplasts) ، وهي أصغر حجماً من البلاستيدات الخضر ولكنها تشابهها من حيث كونها مزدوجة الأغشية ، ويمتد الغشاء الداخلي في البلاستيدة عديمة اللون داخل تجويفها كما يحدث في الميتوكوندريات ، وتوجد بالسدى حبيبات ليبيدية ، وهي نادرة الوجود في الميتوكوندريات .

البلاستيدات الملونة (Chromoplasts) : هذه البلاستيدات تحمل أصباغاً صفراء أو برتقالية أو حمراء من الزانثوفيل والكاروتين : وتبدو تحت المجهر (شكل ٧٢) متكورة أو عدسية الشكل أو قصبية أو مستطيلة أو مثلثة أو معينية ، وتكون مغلفة بأغشية بلازمية مزدوجة ، بها قليل من الامتدادات للداخل في بعض الأحيان ، وتوجد بوفرة في جذور الجزر وبتلات بعض الأزهار وفي بعض الثمار كثمار الطماطم .

(شكل ٧٢)

البلاستيدات الملونة في : (ا) جذر الجزر ، (ب) الثمرة الملونة لحلات نبات أبي خنجر ، ونرى أيضاً نواة الخلية (ن) ، (عن ستراسبرجر) .

٦ – الميتوكوندريات (Mitochondria) .

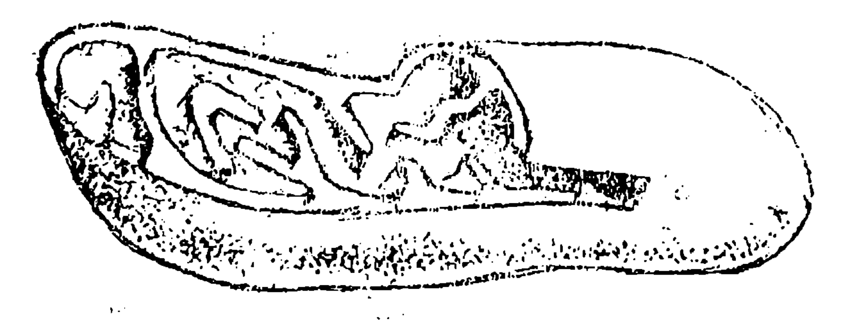
كلمة ميتوكوندريون (Mitochondrion) مشتقة من لفظين إغريقيين لفظ (Mitos) بمعنى خيط ولفظ (Chondros) بمعنى حبة ، أي الخيط المحبب ، وتعرف الميتوكوندريات كذلك باسم الكوندريوسومات (Chondriosomes) وتكون هذه العضيات أصغر حجماً من البلاستيدات ، إذ أن أحجامها تماثل أحجام الخلايا البكتيرية بدائية الأنوية ، وتتراوح أقطارها ما بين ٠,٥ و ١,٥ ميكرون ، ويطلق عليها أحياناً اسم محطات توليد القوى (Powerhouses)

فى الخلية ، لأنها تختص بتحويل الطاقة ، مثلها فى ذلك كمثل البلاستيدات ، ولكنها لا تمتص الطاقة الضوئية كالبلاستيدات ، بل تحدث فيها تفاعلات تأكسدية ينتج عنها الإمداد بالإلكترونات ، مما يتسبب عنه إحداث سلسلة من التفاعلات المعقدة التى تؤدى إلى تكوين مركب « ثلاثى فوسفات الأدينوسين » (Adenosine triphosphate) الذى يشار إليه بالرمز (ATP) ، كما يطلق عليه اسم « مستودع الطاقة » بسبب قدرته على اختزان الطاقة فى صورة فوسفات وإمداد الخلية بها كلما دعت الحاجة .

تركيب الميتوكوندريون : يطلق على هذا العضى أيضاً اسم « كوندريوسوم » وهو عضى حبيبى ، قد يكون كروياً أو أسطوانياً ، ويمتد طوله فى الشكل الأسطوانى حتى يصل إلى ثلاثة ميكرونات ، ويكون موزعاً فى السيتوبلازم ، وقد تحتوى الخلية النباتية الواحدة على عدد كبير من هذه الميتوكوندريات ، يتراوح ما بين ١٠٠ و ٣٠٠ فى كل خلية ، ولما كانت عديمة اللون تقريباً كان من العسير رؤيتها بالمجهر الضوئى إلا إذا صبغت التحضيرات المجهرية بصبغات معينة أو استعملت فى تحضيرها وفحصها تقنيات خاصة ودقيقة ، وأمكن بالطرق الحديثة فصل الميتوكوندريون عن الخلية وتنقيته ودراسة وظيفته بمنأى عن الخلية .

والميتوكوندريون الأسطوانى يكون ممبارى الشكل ، مغلفاً بغشاءين — خارجى وداخلى — يتوسطهما سائل مائى ، ويبرز من الغشاء الداخلى إلى داخل

(شكل ٧٣)



الميتوكوندريون كما يبدو تحت المجهر الإلكترونى ، ويظهر فيه الغشاء الخارجى والداخلى والثنيات الداخلية الممتدة فى التجويف .

تجويف الميتوكوندريون ثنيات (شكل ٧٣) يطلق عليها اسم كرستات (Cristae) وتنتشر على سطح كلا الغشاءين آلاف الجزيئات الصغيرة الملتصقة بالسطح الخارجي للغشاء الخارجي وبسطح الغشاء الداخلي المواجه لتجويف الميتوكوندريون وتعتبر هذه الجزيئات هي الوحدات الأساسية التي تقوم بالنشاط الكيميائي في الميتوكوندريون . أما السائل الذي يتوسط الغشاءين فيؤدي وظيفة التوصيل بينهما وإمداد الإنزيمات الموجودة في الأغشية بمرافقاتها الإنزيمية (Co-enzymes) وتعمل الأخيرة كعوامل مساعدة (Catalysts) لتمكين هذه الإنزيمات من إحداث تفاعلاتها .

وتكوين جدار الميتوكوندريون من غشاءين يتوسطهما سائل يكسبه مرونة مع قوة وتماسك ، ويتكون كل غشاء من مادتين : إحداهما البروتين ويمثل أربعة أخماس وزن كل غشاء والأخرى ليبيد ويمثل خمس الوزن ، ويكون الليبيد مفسفراً في صورة فوسفوليبيد (Phospholipid) ، وتتركب الأغشية بذلك من هاتين المادتين ، وتوجد بداخل الميتوكوندريون مادة أساسية معتدلة الكثافة تسمى السدى (Stroma) توجد بها حبيبات شبيهة بالريبوسومات الموجودة في السيتوبلازم ، وسنتحدث عنها فيما بعد ، ووجد حديثاً أنها تحتوى خيطاً من الحامض النووى (DNA) وآخر من الحامض النووى (RNA) . ويشير الرمز الأول إلى حامض الديوكسى ريبونيوكليك والثانى إلى حامض الريبونيوكليك . ويتشابه التركيب الدقيق للميتوكوندريون في أساسياته في كل من الخلايا النباتية والحيوانية .

٧ — الليسوسومات والأجسام الدقيقة :

تعد الليسوسومات (Lysosomes) والأجسام الدقيقة (Microbodies) من العضيات التي توجد في جميع الخلايا النباتية تقريباً ، وكلاهما عبارة عن جسيمات صغيرة مستديرة الشكل يتراوح قطرها ما بين ٠,٥ و ١,٥ ميكرون ، ولم تستكشف الليسوسومات إلا حديثاً جداً . ولكل من هذين العضيين غلاف من غشاء واحد ، ويختلف التركيب الداخلي لليسوسومات عن تركيب الميتوكوندريات ، ولو أن لها نفس الأشكال الخارجية والأحجام ، ويقوم

غشاء الليسوسومة بفصل إنزيمات الهضم عن بقية الخلية واحتوائها بداخل الليسوسومة ، حيث تظل هذه الإنزيمات غير ناشطة إلى أن يتحطم الجدار الليسوسومى ويتحرر ما بداخله من إنزيمات ، وهذه الإنزيمات هى نفسها التى تقوم بتحطيم الغشاء ، ولا يحدث ذلك إلا أثناء إحلال خلايا جديدة مكان خلايا قديمة مسنة فى كل من الحيوان والنبات ، ولذلك نعد الليسوسومات بمثابة أجهزة هضم « داخل – خلوية » (Intracellular) .

ومن المفروض أن الليسوسومات تحتوى على مختلف الإنزيمات التى تستطيع التأثير على كل واحد من المكونات الخلوية ، ومن بين هذه الإنزيمات إنزيم « الريبونيوكلياز » (Ribonuclease) الذى يؤثر على الحامض النووى (RNA) وإنزيم « ديزوكسيريبونيوكلياز » (Desoxyribonuclease) الذى يؤثر على الحامض النووى (DNA) .

أما الأجسام الدقيقة (Microbodies) فتتميز بمادة أساسية أكثر تجانساً من مادة الليسوسومات ، ويتشابه العضيان داخل الخلية من حيث الأشكال ، ولكن يلاحظ اختلافهما فى التركيب الكيميائى عندما ينزعان من داخل الخلية ويختبران ، حيث يحتويان على طرز مختلفة من الإنزيمات ، وعلى سبيل المثال يطلق على الأجسام الدقيقة عدة أسماء بحسب ما بها من محتويات ، فيطلق عليها أحياناً اسم « بيروكسيسومات » (Peroxisomes) وأحياناً أخرى اسم « جليوكسيسومات » (Glyoxysomes) حسب نوعية ما تحتويه من إنزيمات ، كما أطلق حديثاً على الأجسام الدقيقة المحتوية على زيت اسم « أليوسومات » . (Oleosomes)

٨ – **السفيروسومات (Spherosomes) :**

يمكن عند فحص الخلية فحصاً دقيقاً أن نتبين وجود جسيمات مكتملة التكور وسريعة الحركة داخل الخلية ، وهذه الجسيمات يطلق عليها اسم السفيروسومات أو الأجسام الكروية ، ويعتقد أنها تكونت من الشبكة الإندوبلازمية ، ويحيط بكل جسيم منها غشاء واحد ، وهناك من يعتقد أن هذه الجسيمات هى أجزاء من الخلية متخصصة فى إنتاج الدهون ، وبرغم ذلك فإن وظيفتها غير معروفة حتى الآن على وجه التحقيق .

٩ — السنترو سومات (Centrosomes) :

تشتق كلمة سنتروسوم (Centrosome) من لفظين إغريقيين ، أحدهما هو (Kentron) بمعنى مركز والآخر (soma) بمعنى جسم ، ولذلك فتعرف السنتروسومات باسم « الأجسام الكروية » ، وهى عضيات نجمية الشكل ومتشععة توجد ملاصقة للأغشية النووية . ويتركب كل سنتروسوم من حبيبة مركزية تسمى السنتريول (Centriole) تنبعث منها أشعة قطرية ، وأكثر ما توجد السنتروسومات فى الخلايا الحيوانية ، إلا أنها توجد كذلك فى بعض الخلايا النباتية . وهى ذات علاقة بالانقسامات الخلوية ، ويوجد منها اثنان فى كل خلية .

ولا تظهر السنتروسومات والسنتريولات بوضوح تحت المجهر الضوئى إلا عند اقتراب لحظة الانقسام الفعلى للخلية ، حيث تقوم هذه العضيات بدور ناشط وهام أثناء هذا الانقسام ، وذلك باعتبارها أقطاباً للجهاز المغزلى الذى يقسم الصبغيات (Chromosomes) إلى أنصافها ويباعد بين نصفى كل منها بجذبهما تجاه القطبين المتقابلين .

ويتكون كل سنتريول من أسطوانتين صغيرتين — متعامدتين معاً على شكل زاوية قائمة — وتتكون جدرها من مجاميع من الأنابيب الصغيرة ، وينتج كل زوج من السنتروسومات زوجاً آخر مماثلا له عند انقسام الخلية ، ويبدأ تكوين المغزل (Spindle) فى بداية الطور التمهيدى من أطوار الانقسام الخلوى ، ولا توجد سنتروسومات فى حالات كثيرة بين النباتات ، وتتكون أقطاب المغزل من جسيمات حبيبية كثيفة .

١٠ — الريبوسومات (Ribosomes) :

وبالإضافة إلى الريبوسومات الموجودة فوق أسطح الأغشية البلازمية ، هناك ريبوسومات أخرى توجد حرة داخل السيتوبلازم وعديمة الاتصال بالشبكة الإندوبلازمية ، وتأخذ أعداد هذه الريبوسومات الحرة فى التناقص كلما تقدمت أعمار الخلايا ، فى حين تظل الريبوسومات المتصلة بالشبكة الإندوبلازمية كما هى بدون تناقص . وللريبوسومات أهمية كبرى حيث تساهم

فى تخليق البروتين ، كما تشارك كذلك الريبوسومات الموجودة فوق أسطح أغشية الشبكة الإندوبلازمية فى بناء البروتينات ، كما تنتقل البروتينات المختلفة فى تجاويف شبكة الأغشية .

وتتراوح أقطار الريبوسومات ما بين ١٥٠ و ٣٠٠ أنجستروم ، وتحتوى على ٥٠٪ إلى ٦٠٪ من وزنها بروتين وما بين ٤٠٪ و ٥٠٪ حامض نووى (RNA) ، ومادة حامض الريبونيوكليك الموجودة فى الريبوسومات تمثل الجانب الأكبر مما يوجد منها فى الخلية جميعها ، وهو فى الريبوسومات ثابت نسبياً . وقد تتجمع الريبوسومات الحرة أحياناً فى مجموعات من أربعة أو أكثر ، وتسمى فى هذه الحالة « مجاميع ريبوسومية » (Polyribosomes) .

الريبوسومات وتخليق البروتين : تعد عملية تخليق البروتين من العمليات الكبيرة والهامة التى تحدث فى خلايا جميع الكائنات الحية ، والبروتينات هى مركبات ذات جزيئات معقدة التركيب من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية (Amino acids) ، وتتكون فى جميع أجزاء الخلية ؛ وبالإضافة إلى ذلك فإن جميع الإنزيمات إنما هى بروتينات . وقد توصل العلم حديثاً إلى كشوف هامة فى مجال تخليق البروتين داخل الخلايا ، اتضح منها أن المواد ذات الصلة بتخليق البروتين فى الخلايا هى الآتية : الأحماض النووية من حامض الريبونيوكلييك والديزوكسى ريبونيوكلييك ، وبوليمرازات الأحماض النووية (Nucleic acid polymerases) وثلاثى فوسفات الأدينوسين (Adenosine triphosphate) والأحماض الأمينية .

١١ – الدكتيوسومات (أو أجسام جولجى) :

الدكتيوسومات (Dictyosomes) -- ومعناها الحرفى « الأجسام الشبكية » هى تراكيب غشائية ؛ وهى تعرف كذلك باسم « أجسام جولجى » (Golgi bodies) نسبة إلى العالم الإيطالى جولجى الذى كان أول من وصفها عام ١٨٩٨ ميلادية ، ووصفها بأنها شبكة من خيوط دقيقة للغاية ، وقد ظل معظم علماء الخلية منكرين لوجود جهاز جولجى لفترة طويلة بعد ذلك إلى أن تم اكتشاف المجهر الإلكترونى وأمكن باستعماله إماطة اللثام عن وجود وماهية هذه الدكتيوسومات .

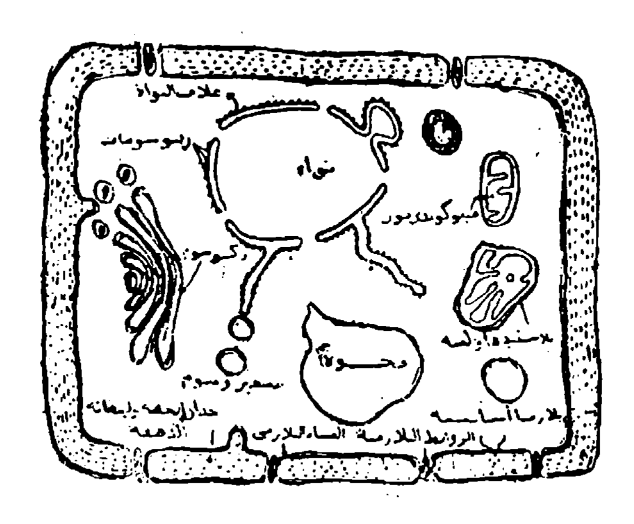
التركيب الدقيق : كان أول وصف للتركيب الدقيق لجهاز جولجى منصباً على الخلايا الحيوانية بالذات ، ثم اتضح فيما بعد أن له تركيباً مماثلا فى خلايا النباتات . ويتألف الدكتيوسوم من عدد من أقراص مفلطحة مستديرة الشكل ، يتراوح قطر كل منها ما بين ميكرون وثلاثة ميكرونات ويقع حجمها فى مدى رؤية المجاهر الضوئية . وتكون هذه الأقراص مجوفة ومحاطة بغشاء شبيه بأغشية الشبكة الإندوبلازمية ، وتكون أغشية الدكتيوسومات عادة متصلة بأغشية الشبكة الإندوبلازمية ، ويتراوح سمك الغشاء ما بين أربعين وخمسين أنجستروم ، كما أن الفراغ الواقع بين الأقراص له نفس الثخانة ، ويتكون كل دكتيوسوم من عدد من هذه الأقراص المفلطحة يتراوح ما بين ثلاثة وثمانية ، ولكن قد يصل عددها إلى عشرين فى بعض الطحالب ، وعادة ما يصل سمك الجسم الشبكى إلى ما بين ١ و ٠ و ٣ر٠ ميكرون .

وتعطى الأقراص المفلطحة الجوفاء فقاقيع (Vesicles) تأخذ فى الانفصال عن الدكتيوسومات — بعد التكوين — وتنطلق إلى السيتوبلازم ، ولذلك تعرف الدكتيوسومات بالتراكيب انفقاعية (Vesicular structures) ، وتبدو الأقراص هلالية الشكل فى قطاعات عمودية على سطوحها وبها الفقاعات أكثر انتشاراً على سطحها المقعر ، وهذا التركيب مميز للغاية ويدل على أن جهاز جولجى (أو الدكتيوسوم) له وجود مستقل .

وجود الدكتيوسومات فى النباتات : توجد الدكتيوسومات فى جميع النباتات الوعائية والحزازيات والطحالب ، فيما عدا الطحالب الخضر المزرقة بدائية النواة ، كما سجل حديثاً وجودها كذلك فى الفطريات ، ولكن لم يثبت وجودها فى البكتيريا ، فبدائيات الأنوية (البكتيريا والطحالب الخضر المزرقة) تفتقر إلى وجود هذه الدكتيوسومات ، بينما توجد فى النباتات حقيقية الأنوية بوجه عام ، مما يعزز ملاحظة الترابط الوجودى بين الدكتيوسومات والأغشية البلازمية فى الطراز الأخير من النباتات ، وتتضمن الأغشية البلازمية الشبكة الإندوبلازمية وغشاء النواة وأغشية

الدكتيوسومات (شكل ٧٤) ، وتكون هذه الأغشية جهازاً واحداً لا وجود له فى الكائنات بدائية الأنوية .

(شكل ٧٤)



الدكتيوسوم والأغشية البلازمية فى الخلية النباتية .

التركيب الكيميائى للدكتيوسومات : تتكون أغشية الدكتيوسومات من الليبوبروتينات (Lipoproteins) ، وهى مركبات تتكون من البروتينات والفوسفوليبيدات بكميات متساوية ، وتعتبر فقيرة فى الإنزيمات . أما الفقاعات فقد تحتوى على بروتينات وجلوكوسيدات ، وتحتوى فى النباتات على كربوإيدراتات متنوعة من طراز عديدات التسكر وعلى أصباغ وراتنجات .

وظيفة الدكتيوسومات : نظراً لافتقار الدكتيوسومات إلى الإنزيمات فإن وظيفتها تقتصر على نقل المواد — التى لم تقم أصلا بتصنيعها — إلى مواضع تتجمع فيها داخل الخلية أو تعمل على إخراجها من الخلية . ومن الآراء التى اقترحت أخيراً احتمال أن تكون أجسام جولجى تمثل مصانع فى الخلية لضمان استمرار إنتاج أغشية جديدة ، وقد يكون من بين منتجاتها كذلك الفقاعات الغشائية والأقراص المفلطحة ، ومما يعزز صحة هذا الافتراض الاقتران الوثيق بين تكوين الدكتيوسومات وظهور أغشية جديدة أثناء انقسام الخلايا النباتية ، بل وافترض كذلك أن الأغشية الحديثة التكوين قد يرجع تكوينها إلى التحام فقاعات أنتجتها الدكتيوسومات

ويصل عدد الدكتيوسومات فى خلايا قمة الجذر - الناشطة فى النمو والانقسام إلى عدة مئات ، إلا أن هذا العدد يتناقص فى الخلايا عديمة النشاط . وهناك افتراض آخر مطروح ، وهو أن الدكتيوسومات تقوم فسيولوجياً بوظيفة بناء مواد الجدار الخلوى ، ومما يعزز هذا الافتراض ظهور مواد بالجدار الخلوى موجودة داخل تراكيب تشبه الأكياس وتنتجها الدكتيوسومات ، وشوهدت متجهة نحو غشاء الخلية بالذات .

١٢ - النـــواة (Nucleus) :

فى جميع الخلايا الحية بالنباتات حقيقية النواة (Eucaryotic plants) توجد النواة كأحد العضيات (ارجع إلى شكل ٦٧) ، وهناك بعض طرز من الخلايا تفقد نواتها عند اكتمال نموها مثل خلايا الدم فى الحيوان وخلايا الأنابيب الغربالية فى النبات ، وتشغل النواة الجانب الأكبر من حجم الحقة فى الخلايا الإنشائية الحديثة التكوين والأعمار . وكذلك فى الخلايا سريعة الانقسام ، أما فى الخلايا المسنة فإنها تشغل حيزاً أصغر حجماً ، وقد تصبح عند ذاك منضغطة بين الفجوة العصارية والجدار .

الخلايا وحيدة النواة والخلايا متعددة الأنوية : تكون الخلايا وحيدة النواة فى غالبية النباتات الوعائية ، ولكن قد يحتوى البعض منها على نواتين أو أكثر ، مثل الخلايا اليتوعية (Latex cells) والأنابيب اليتوعية (Latex tubes) فى بعض النباتات ، أما فى النباتات غير الوعائية فيوجد الكثير من النباتات التى تحتوى كل خلية من خلاياها على أكثر من نواة ، كما هو الحال فى بعض الطحالب مثل « الفوشيريا » **(Vaucheria)** وغيرها من أجناس تنتمى إلى رتبة الأنبوبيات (Siphonales) ، بل وقد يوجد عدد كبير من الأنوية منتثرة فى كتلة سيتوبلازمية كما فى بعض العفنيات الهلامية (Slime moulds) مثل البلازموديوم وفى الأميبا بين الحيوانات الأولية .

شكل النواة : تتباين أشكال النواة باختلاف طرز الخلايا وأعمارها فتكون النواة فى الخلايا حديثة التكوين كروية ، بيما تصبح فى الخلايا

المسنة ذوات الفجوات مفلطحة ومنضغطة بين الفجوة والجدار ، أما فى خلايا الكامبيوم فقد تتخذ النواة شكلا عدسياً .

حجم النواة : تتراوح أقطار الأنوية فى الخلايا الإنشائية الحديثة ما بين سبعة وعشرة ميكرونات ، بينما قد تصل فى الخلايا المسنة الكبيرة إلى خمسين ميكروناً ، وفى الواقع تختلف أحجام الأنوية اختلافاً كبيراً ، والأحجام المذكورة آنفاً إنما تمثل متوسط الأحجام بوجه عام ، وتوجد بالإضافة إلى ذلك أنوية بالغة الضخامة مثل نواة لاقحة نبات السيكاس — وهو من النباتات عاريات البذور — التى تصل ما بين ٥٠٠ و ١٠٠٠ ميكرون ، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وتوجد من ناحية أخرى أنوية تكون أحجامها متناهية فى الصغر كأنوية الفطريات (Fungi) ، التى تتراوح ما بين ميكرون واحد وعشرة ميكرونات .

تركيب النواة : تكون النواة أكثر وضوحاً فى الخلية الميتة منها فى الخلية الحية ، وتحتوي النواة على عدد من الأجسام الكروية — يتراوح بين واحدة أو اثنتين أو أكثر — يطلق على كل واحدة منها اسم النوية (Nucleolus) ، يمكن بسهولة تمييزها عن مادة النواة بسبب أن معامل انكسارها أعلى من معامل إنكسار النواة ذاتها . وتحاط نواة الخلية — فى الخلايا حقيقية النواة — بغشاءين يكونان معاً ما يعرف باسم « الغلاف النووى » (Nuclear envelope) ، وتوجد فى هذا الغلاف ثقوب مميزة تسمى « الثقوب النووية » (Nuclear pores) تقوم بوظيفة تسهيل التبادل مع السيتوبلازم والتحكم فيه ، وليست الثقوب — كما يبدو من اسمها — مجرد فتحات بسيطة ولكنها معقدة الشكل والتركيب ، إذ تبين أخيراً أن الكروموسومات (أو الصبغيات) تكون متصلة بهذه الثقوب النووية ، ومن اليسير رؤية هذه الثقوب باستعمال المجاهر الإلكترونية ، وهذه الثقوب النووية ليست مفتوحة فى كثير من الحالات وإن كانت تبدو مفتوحة فى حالات أخرى ، وتوجد عادة حول كل ثقب تراكيب أسطوانية الشكل تبرز قليلا داخل السيتوبلازم ،

ووظيفة هذه التراكيب هي عدم السماح للجزيئات الكبيرة بالانتشار والنفاذ من غشاء النواة ، بمعنى أن الغلاف النووى يؤدى وظيفة التحكم فى مرور الجزيئات من وإلى النواة .

وتوجد امتدادات تنبثق من الغشاء الخارجي للنواة إلى داخل السيتوبلازم ويبدو أن هذا الغشاء على اتصال بجهاز الشبكة الإندوبلازمية ، وعن طريق امتدادات هذا الغشاء يتم الاتصال بين الفراغات الواقعة بين غشاءى الشبكة الإندوبلازمية وبين الفراغ المحيط بالنواة والذى يقع بين غشاءى الغلاف النووى ، ويمكن بذلك اعتبار الغشاء الخارجي للغلاف النووى بمثابة جزء متخصص من جهاز الشبكة الإندوبلازمية . وتوجد بداخل النواة مادة حبيبية يطلق عليها اسم « البلازم النووى » (Nucleoplasm) تكون منتشرة بين الكروموسومات ، إلا أن الأخيرة تكون من حيث اللون أدكن اصطباغاً ، أما النويات فيتركب كل منها من مكونات خيطية وحبيبية ولا يحدها غشاء خارجي .

الكروماتين النووى (Nuclear chromatin) : يوجد الكروماتين بالنواة ، والمعنى الحرفى لكلمة كروماتين هو « الجسم الملون » ، ويمثل فى النواة المادة الوراثية ، ويتميز دائماً بعمق الاصطباغ . وهناك طرازان من الكروماتين ، يعرف أحدهما بالكروماتين الشبكى (Reticulate chromatin) ويعرف الآخر باسم الكروماتين اللاشبكى (Areticulate chromatin) ، ويظهر الكروماتين فى النواة الساكنة (Resting nucleus) — أى التى لا تكون فى حالة انقسام — على شكل شبكة ، ويوصف عندئذ بأنه شبكى (Reticulate) ، كما هو الحال فى بعض النباتات ، بينما لا يتخذ شكلا شبكياً فى نباتات أخرى ، فى نبات القمح (Triticum vulgare) تظهر فى النواة شبكة كروماتينية حقيقية ويوصف الكروماتين فى هـــذه الحالة بأنه « حقيقى الشبكية » (Eu-reticulate) ، وذلك لتمييزه عن الشبكة الكروماتينية الأقل كثافة فى نواة نبـــات البسلة (Pisum sativum) — على سبيل المثال — التى توصف بأنها شبكية . أما فى خلايا نبـــات الفجـــل (Raphanus sativus)

فلا يظهـــر فى النـــواة أى أثـــر لشبكة كروماتينية ، ولذلك يوصف الكروماتين فيها بأنه « لا شبكى » (Areticulate) .

الكروموسومات (أو الصبغيات) : أفضل ما تشاهد الكروموسومات (Chromosomes) أثناء الطور الاستوائى (Metaphase) للانقسام الخلوى ، حيث تبدو فى هذا الطور فى شكل تراكيب مزدوجة ، يتكون كل كروموسوم من نصفى صبغى (2 chromatids) يتصلان معاً عند مختنق خاص يعرف باسم السنترومير (Centromere) ، ويمكن فى بعض أنواع من النباتات أن نتبين فى يسر ووضوح أشكال هذه الأزواج من أنصاف الصبغيات ، ويساعد ذلك على معرفة طراز النواة ، ولكن يعد من الصعوبة بمكان فى أنواع أخرى من النباتات تمييز ومعرفة طراز الكروموسومات حيث تكون الأخيرة صغيرة الأحجام وكثيرة الأعداد .

وقد أصبح واضحاً الآن أن الكرموسومات توجد فى الخلايا الجسدية (Somatic cells) فى أزواج ، ينتمى أحد فردى كل زوج منها إلى الأب أى « أبوى » (Paternal) وينتمى الآخر إلى الأم أى « أمى » (Maternal) ويوصف كل من هذين الصبغيين بأنه مماثل (Homologous) للآخر ، وتعد هذه الصبغيات المتماثلة ذوات أهمية وراثية عظمى ، وازدواجها هو الذى تكمن وراءه حكمة الانقسام الاختزالى (Meiosis) الذى يؤدى إلى تكوين الأمشاج (Gametes) ، وذلك لأن الازدواج هو أولى الخطوات التى تسمح فيما بعد بتفرق وانفصال كروموسومى الأب والأم فى كل زوج وتوزيعهما بين خليتين بنويتين مختلفتين فيما يتلو ذلك من عملية الانقسام الاختزالى ، مما يؤدى بالتالى إلى اختزال عدد الصبغيات فى كل من المشيجين — الذكرى والأنثوى — إلى نصف العدد الموجود فى الخلايا الجسدية لكل نوع من الكائنات .

١٣ — النويـــة (Nucleolus) :

إذا فحصت نواة مصبوغة لوحظ أن أجزاء معينة فقط من البروتين

النووى هى القابلة للاصطباغ ، وهى التى تمثل المادة الأساسية للنواة ، إلا أن واحدة أو أكثر من هذه الأجزاء المصطبغة تكون أكثر وضوحاً من غيرها من الأجزاء ، تلك هى النويات (Nucleoli) ، وغالباً ما تكون النوية صغيرة الحجم وكروية الشكل ، إلا أن النويات بوجه عام شديدة التباين وكثيرة التغير من حيث الأشكال والأحجام ، وتختفى النويات عادة عندما تكون الخلية فى حالة انقسام ، ولم تعرف بعد على وجه التحقيق وظيفة النويات .

وتتكون النويات عادة فى مواضع معينة من النواة تعرف باسم « منظمات النوية » (Nucleolus organisers) ، وهى غنية بالحامض النووى الريبوزى (RNA) ، ويختلف حجمها — وفى بعض الأحيان عددها — باختلاف الأنسجة فى نفس الكائن الحى ، ويتراوح قطرها عادة ما بين ميكرونين وخمسة ميكرونات ، وقد ثبت أخيراً أن تخليق الحامض النووى الريبوزى الموجود بالريبوسومات يتم داخل النويات ، سواء فى خلايا الحيوان أو النبات .

(العلاقات الغشائية فى الخلايا حقيقية النواة)

مع بدء بزوغ تقنية استخدام المجاهر الإلكترونية ، لاستجلاء التفاصيل الدقيقة للتراكيب الخلوية ، أمكن رؤية الأغشية الخلوية — فى الخلايا المثبتة وفى خلايا القطاعات — على شكل خط فاصل يقع بين خطين داكنين ، وقد شبه هذا التركيب بشطيرة من بروتين على الجانبين بينهما الليبيد ، وأطلق على هذه الشطيرة اسم « وحدة الغشاء » (Unit membrane) ، وكان يغلب على الظن فى بادىء الأمر أنه غشاء غير متخصص يمكن أن تتشعب منه عدة طرز مختلفة من الأغشية المتخصصة وظيفياً ، ولكن تبين بعد ذلك — مما أجرى من دراسات كيميائية ومجهرية — وجود طرز كثيرة من الأغشية داخل الخلايا تساوى فى كثرتها تعدد الوظائف التى تؤديها هذه الأغشية ، ولذلك فقد استبعد الكثيرون من البيولوجيين الأخذ بمبدأ « وحدة الغشاء » ، إلا أن آخرين استمسكوا به ولكن فى صورة محورة ، على اعتبار أنه التفسير

الوحيد للصورة الشطيرية التي تبرزها المجاهر الإلكترونية ، وهي صورة الخط الناصل الواقع بين خطين داكنين : وهذه الصورة ثابتة في جميع الحالات .

وبالرغم من التباينات التركيبية والوظيفية للأغشية فإن هناك طرازاً ثابتاً من الأواصر التي تربط بينها جميعاً ؛ فهناك – كما سبق أن ذكرنا – استمرارية لجهاز الأغشية فيما بين الغشاء الخارجي للغلاف النووي وأغشية الشبكة الإندوبلازمية ، كما أن هناك علاقة كذلك بين أغشية الشبكة الإندوبلازمية والأغشية التونوبلاستية ، كما تتصل الأغشية المغلفة للبلاستيدات والميتوكوندريا بالأغشية الموجودة داخل هذين العضيين .





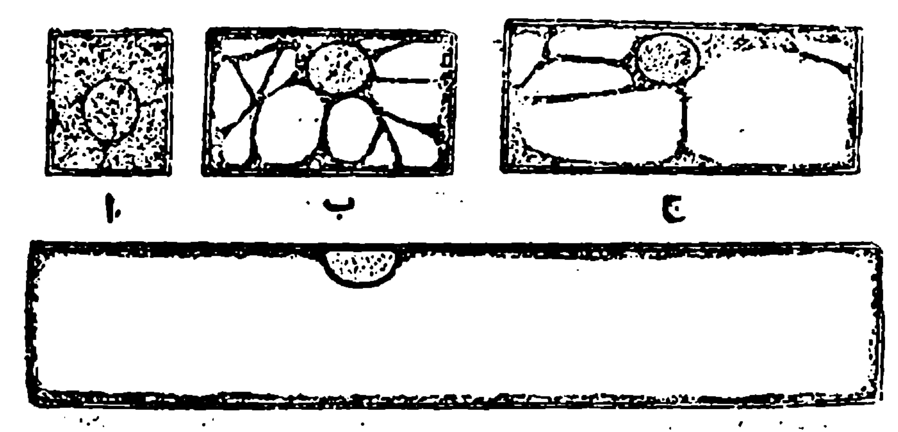
(المحتويات غير الحية للبروتوبلاست)

أو الميتابلازم (Metaplasm)

(أولا) العصير الخلوى

يوجد العصير الخلوى (Cell sap) داخل الفجوة العصارية (Vacuole) التى تحتل فى الخلايا البالغة حيزاً كبيراً من فراغ الخلية . أما فى الخلايا الإنشائية فلا وجود له على الإطلاق ، إذ يحتل السيتوبلازم والنواة جميع تجويف الخلية. وبتقدم الخلية فى العمر يبدأ ظهور فجوات صغيرة داخل السيتوبلازم ممتلئة بمحلول مائى ، تتكون نتيجة لنمو الجدار الخلوى واتساعه بسرعة تفوق سرعة تكون البروتوبلازم ، فلا يستطيع الأخير أن يملأ الفراغ المتزايد داخل الخلية ، وتتجمع الفجوات الصغيرة عادة فى فجوة واحدة ، تكبر بالتدريج ،

(شكل ٧٥)



(ا) خلية مرستيمية (إنشائية) ممتلئة بالسيتوبلازم وخالية من الفجوات العصارية . (ب) بدء تكوين فجوات عصارية صغيرة ومتعددة داخل السيتوبلازم ، (ج) تكبر الفجوات وتأخذ فى الاتحاد مع بعضها البعض ، (د) خلية بالغة بها فجوة عصارية واحدة كبيرة وقد انكمش السيتوبلازم الى طبقة رقيقة مبطنة تبطن الجدار من الداخل .

حتى تشغل معظم الخلية ، وعندئذ ينحصر السيتوبلازم فى طبقة رقيقة تبطن الجدار من الداخل (شكل ٧٥) . وفى الخلايا التى تشغل نواتها الجزء المركزى تخترق الفجوة خيوط وصفائح بروتوبلازمية تصل ما بين السيتوبلازم المركزى المحيط بالنواة والسيتوبلازم المحيطى المبطن للجدار

والعصير الخلوى محلول مائى لمواد مدخرة أو ناتجة من عمليات التحول الغذائى أو الأيض (Metabolism) ، وتختلف محتويات العصير من خلية لأخرى ، وأحياناً من فجوة لأخرى فى نفس الخلية ، ويكون بعضها محلولا حقيقياً ، بينما يكون البعض الآخر محلولا غروانياً .

ومن بين المواد التى يحتويها العصير أملاح معدنية ، منها النيترات والكبريتات والفوسفاتات ؛ ومواد كربوإيدراتية — كالسكاكر بأنواعها — وكذلك الإنيولين (Inulin) الذى تتميز به نباتات الفصيلة المركبة بنوع خاص . ويوجد بالعصير أحماض عضوية كأحماض التفاحيك (Malic) والأكساليك والطرطريك وأملاحها ، ويعمل وجودها على جعل العصير حامضى التفاعل . وفى الفطريات يكثر وجود النشا الحيوانى (Glycogen) ؛ وفى بعض النباتات يحتوى العصير قلوانيات (Alkaloids) ، وفى نباتات أخرى توجد بروتينات ومواد دهنية . وهناك طائفة من النباتات تختزن المواد السكرية فى خلايا بعض أعضائها دون البعض الآخر ، كجذور البنجر والجزر وثمار العنب وسيقان القصب ، وغير ذلك . وفى بتلات بعض الأزهار كأزهار الخبيزة والجارونيا (Pelargonium) توجد أصباغ ذائبة فى العصير الخلوى ، تعرف بالأصباغ الأنثوسيانينية (Anthocyanin pigments) وهى حمراء أو زرقاء أو صفراء ، تكسب العصير والأزهار اللون الخاص بها.

والعصير الخلوى سائل كثيف ، يفصله عن السيتوبلازم الغشاء البلازمى الداخلى ، وتوجد به أحياناً مواد مخاطية كما فى الأبصال والنباتات العصيرية كأنواع الصبار (Cactus) ، والأراشيد (Orchids) .

(ثانياً) نواتج أيضية

١ — المواد الكربوإيدراتية :

توجد المواد الكربوإيدراتية فى الخلايا النباتية على حالة ذائبة أو صلبة ، وأهم الكربوإيدراتات الذائبة هى السكاكر ، كسكر العنب (Glucose)

وسكر الفاكهة (Fructose) وسكر القصب (Sucrose) . ويوجد الأخير بنسبة عالية فى بعض النباتات كقصب السكر والبنجر . ومن الكربوإيدراتات الذائبة أيضاً الإنيولين (Inulin) وهو عديد التسكر (Polysaccharide) ، ويوجد فى الجذور الدرنية لنبات الداليا (Dahlia) وغيره من نباتات الفصيلة المركبة ، ويترسب بالكحول على هيئة بلورات مستديرة داخل الخلايا .

وأهم المواد الكربوإيدراتية المدخرة فى النباتات هى النشا ، وهناك نوعان منه : انتقالى واختزانى ، أما الانتقالى فهو الذى يتكون داخل البلاستيدات الخضر فى خلايا الأوراق عند تعرضها للضوء ، وتظل حبيباته صغيرة الحجم وتتكون بكميات كبيرة ، وتتحول أثناء الليل إلى مواد سكرية ذائبة تنتقل إلى أعضاء الاختزان ، حيث تتحول داخل البلاستيدات عديمة اللون إلى حبيبات من النشا الاختزانى .

ويوجد النشا الاختزانى بوفرة فى مختلف أعضاء الاختزان ، مكوناً غذاء مدخراً ، كما فى درنات البطاطس والبطاطا وكورمات القلقاس وفى الريزومات والبذور والحبوب كحبوب القمح والذرة والشعير . والمصدر الرئيسى للنشا التجارى هو الحبوب ، فحبوب الذرة تحتوى منه على ٦٠٪ من وزنها ، وتحتوى حبوب الأرز على أعلى نسبة معروفة من هذه المادة ، إذ تبلغ ٨٥٪ ، أما درنات البطاطس فتحتوى على نسبة أقل . ويتكون النشا الاختزانى من حبيبات منضغطة أو مستديرة أو بيضاوية ، تبدو تحت المجهر كأجسام لامعة ، يختلف حجمها فى النباتات المختلفة ، فتصل إلى ١ر٠ ملليمتر فى البطاطس ، وأقل من ذلك فى النباتات الأخرى . وإذا فحص نشا البطاطس تحت المجهر — بعد صبغه بمحلول اليود المخفف حتى يأخذ لوناً أزرق باهتاً — فإنه يلاحظ أن الحبيبات بيضية الشكل غالباً ، أحد طرفيها ضيق والآخر عريض . وأنها تتكون من طبقات متميزة ، تختلف فى كثافتها الواحدة عن الأخرى (شكلا ٧٦ ، ٧٧) ، وتمثل كل طبقة الزيادة التى طرأت على حجم الحبيبة خلال فترة معينة . واختلاف كثافة الطبقات يسبب اختلافاً فى درجة انعكاس الضوء

منها ، ويسبب هذا بالتالى اختلافاً فى درجة وضوحها ، مما يساعد على تمييز طبقات متعاقبة تحت المجهر .

وطبقات النشا مرتبة فى البطاطس حول نقطة واحدة تسمى السرة (Hilum) ، خارجة عن مركز الحبيبة ، وأقرب إلى طرفها الضيق منها إلى الطرف العريض ، ولذلك توصف الحبيبات النشوية فى البطاطس بأنها لا مركزية (Eccentric) كما فى شكلى (٧٦ : ا ، ٧٧) .

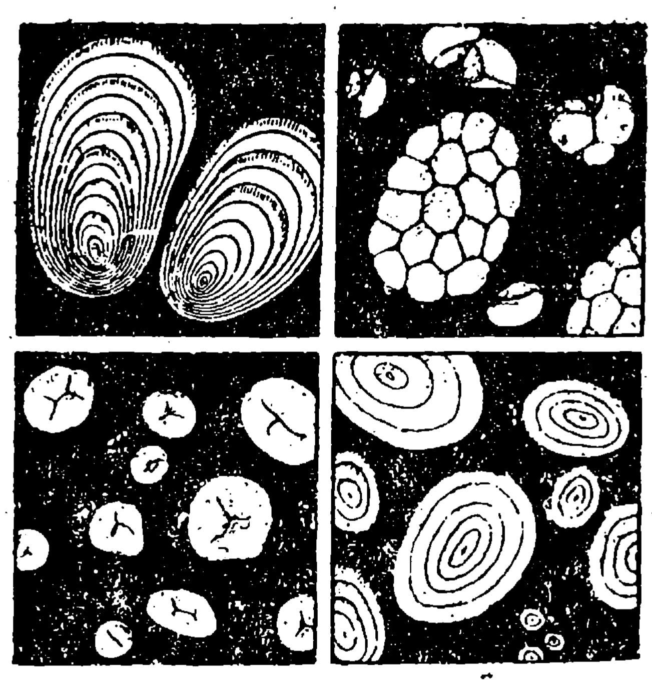
(شكل ٧٦)

حبيبات النشاء فى درنات البطاطس : (ا) حبيبة بسيطة ، (ب) حبيبة نصف مركبة ، (ج) ، (د) حبيبتان مركبتان « عن ستراسبرجر »

ومعظم حبيبات البطاطس ذات سرة واحدة وتسمى حبيبات بسيطة (شكل ٧٦ : أ) ، غير أن هناك قلة من هذه الحبيبات لكل منها سرتان أو أكثر ، تعرف بالحبيبات المركبة (شكل ٧٦ : ج ، د) ، وتتلاصق الحبيبات الجزئية فى الحبيبة المركبة ، وتتحد دون أن تغلفها طبقات مشتركة . وهناك أيضاً حبيبات نصف مركبة تتكون من حبيبتين أو أكثر ذات أغافة خارجية مشتركة من طبقات النشا (شكل ٧٦ : ب) . هذه الأنواع جميعها – البسيطة والمركبة ونصف المركبة – موجودة فى نشا البطاطس .

أما فى بذور البقليات والحبوب ، فإن الحبيبات النشوية تكون فى الغالب مركزية (Concentric) ، بمعنى أن السرة تقع فى مركز الحبيبة ، وفى البسلة تستطيل السرة بعض الشيء بدل أن تتركز فى نقطة محددة . وفى بذور الفاصوليا تشع من السرة شقوق قطرية ، تخترق طبقات النشا المتعاقبة متجهة نحو سطح الحبيبة (شكل ٧٨) . وفى الأرز (شكل ٧٧) والشوفان لا توجد سوى حبيبات مركبة ، تتكون كل واحدة منها من عدد كبير من الحبيبات الجزئية ،

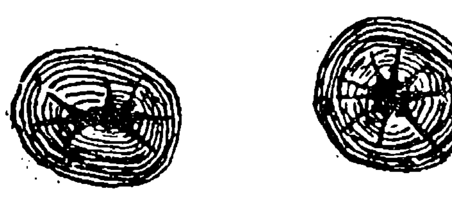
(شكل ٧٧)



حبيبات نشوية ذوات أشكال مختلفة: نشاء البطاطس في الناحية العليا إلى اليمين ، ونشاء الذرة في الناحية العليا إلى اليسار ، ونشاء الأرز ذو الحبيبات المركبة في الناحية السفلى إلى اليمين ، ونشاء القمح في الناحية السفلى إلى اليسار « عن سينوت وواسون » .

يتراوح بين أربع حبيبات ومائة حبيبة ، وهذه الحبيبات الجزئية مضلعة وصغيرة غاية الصغر ، لا يمكن فيها تمييز السرة ولا الطبقات النشوية لصغرها ، أما في الذرة (شكل ٧٧) فالحبيبات صغيرة نوعاً ، مستديرة أو مضلعة ، ولكنها بسيطة ذات سرة واحدة في شكل شق طولي متفرع ، والطبقات غير واضحة .

(شكل ٧٨)



حبيبات النشاء في بذور الفاصوليا

والعامل الذي يتحكم في شكل حبيبة النشا هو موضع تكونها داخل البلاستيدة عديمة اللون ، فإذا كانت الحبيبة أثناء تكوينها محاطة بالبلاستيدة إحاطة منتظمة فإنها تصبح مركزية . أما إذا بدأ تكوينها بالقرب من أحد قطبي

البلاستيدة فإن نموها يكون أسرع فى اتجاه القطب الآخر الحر ، وبذلك يكون سمك الطبقات أكبر فى اتجاه ذلك القطب ، وتصبح السرة أقرب إلى أحد القطبين منها إلى الآخر ، وبذلك تكون لا مركزية. وأحياناً يبدأ تكون عدة حبيبات فى وقت واحد داخل نفس البلاستيدة عديمة اللون ، فتتلاقى وتتزاحم أثناء نموها ، وتتكون حبيبات مركبة ، فإذا استمر تكون النشاء بعد تلاقيها وأضيفت طبقات منه تغلفها جميعاً بأغلفة مشتركة ، أصبحت الحبيبات نصف مركبة .

٢ — المواد البروتينية :

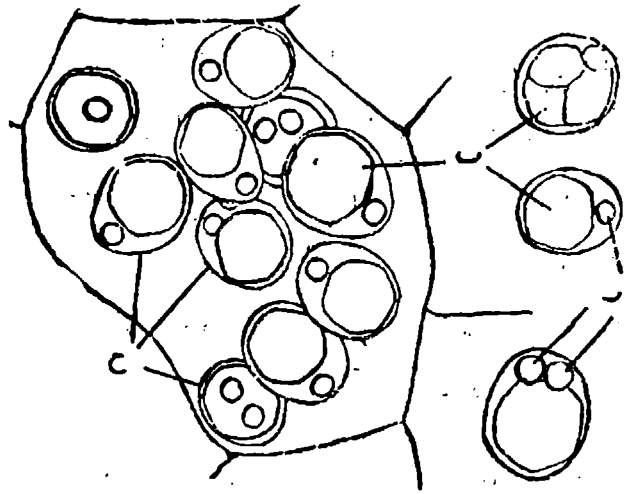
تختزن المواد البروتينية أحياناً فى حالة سائلة بالعصير الخلوى للأجزاء العصيرية فى بعض النباتات ، كما أنها تدخل فى مركبات معقدة لتكوين البروتوبلازم نفسه . وفضلا عن ذلك فإنها توجد فى حالة صلبة ، على هيئة حبيبات بخلايا أعضاء الاختزان ، كبذور كثير من النباتات ، وتعرف إذ ذاك بالحبيبات الأليرونية (Aleurone grains) ، وهى كبيرة الحجم عادة فى البذور الزيتية كبذور الخروع ، صغيرة فى البذور النشوية كبذور البسلة .

فإذا قطعنا قطاعاً مستعرضاً رقيقاً فى إندوسبرم بذرة الخروع (شكل ٧٩) ثم فحصناه بالمجهر ، فإننا نلاحظ امتلاء الخلايا بحبيبات كبيرة نسبياً ، هى الحبيبات الأليرونية ، وتنشأ كل حبيبة أثناء نضج البذرة داخل فجوة عصارية غنية بالمواد البروتينية . ولكل حبيبة غلاف يمثل الغلاف الأصلى للفجوة ، وبداخله مادة بروتينية دقيقة غير متبلورة (Amorphous) منغمس فيها جسم أو أكثر ، وأحد هذه الأجسام مضلع بللورى الشكل ويعرف بالجسم شبه البللورى (Crystalloid) ، والآخر مستدير وأصغر من السابق ويعرف بالجسم شبه الكروى (Globoid) ، وكلا الجسمين من مادة بروتينية ، غير أن البروتين فى الجسم شبه الكروى متحد مع فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم ، ويوجد أحياناً أكثر من جسم شبه كروى واحد فى الحبيبات الأليرونية ، كما قد يوجد أكثر من جسم بللورى واحد .

أما فى الفول والبسلة — وغيرها من بذور القرنيات — فتكون الحبيبات

أصغر حجماً منها فى البذور الزيتية ، ولا تتميز بها أجسام شبه كرية كما فى الخروع . فإذا قطع فى إحدى فلقتى بذرة البسلة قطاع مستعرض ، ثم فحص بالمجهر ، فإنه يلاحظ وجود حبيبات نشوية داخل الخلايا مختلطة بحبيبات دقيقة أصغر منها هى الحبيبات الأليرونية ، تملىء بها الفراغات التى بين حبيبات النشا . وتصطبغ الحبيبات الأليرونية بلون أصفر أو بنى باهت ، وبهذا الاختبار يمكن تمييز نوعى الحبيبات.

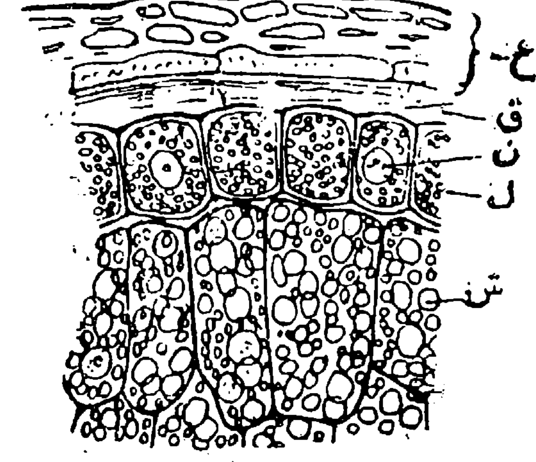
(شكل ٧٩)



الإندوسبرم ببذرة الخروع ، ونرى به الحبيبات الأليرونية (ح) وبداخلها الأجسام شبه البللورية (ب) والأجسام شبه الكرية (ر) (عن فرنش وسالسبورى)

وفى القمح (شكل ٨٠) توجد طبقة واحدة من الخلايا تحت أغلفة الحبة مباشرة تسمى الطبقة الأليــــرونية (Aleurone layer) تمتلىء بالحبيبات الأليرونية الدقيقة ، التى تصطبغ باللون الأصفر إذا عولجت بمحلول اليود . وتلى تلك الطبقة طبقات عديدة من

(شكل ٨٠)



قطاع مستعرض فى حبة القمح ، ونرى به غلاف الثمرة (غ) من الخارج ، ملتحماً بالقصرة (ق) ويلى ذلك الإندوسبرم مبتدئاً بالطبقة الأليرونية ، ذات الخلايا الممتلئة بالحبيبات الأليرونية (ل) ، ويمكن مشاهدة النواة (ن) فى كل خلية ، وبداخل الطبقة الأليرونية يتكون الإندوسبرم من طبقات عديدة من خلايا ممتلئة بحبيبات النشاء (ش) ، (عن ستراسبرجر)

خلايا أكبر حجماً تشغل الإندوسبرم بأجمعه عـدا الطبقة الأليرونية ، وتمتلىء بحبيبات النشا .

٣ – الزيوت والدهون (Oils and Fats) :

توجد الزيوت فى معظم الخلايا النباتية الحية على هيئة قطرات مستديرة لامعة بالعصير الخلوى أو السيتو بلازم . وهناك طائفة من النباتات تختزن الزيوت فى خلايا بذورها أو ثمارها بكميات وفيرة تسمح باستغلالها اقتصادياً . ومن أمثلة هذه النباتات القطن والخروع والكتان ، ويكون الزيت أحياناً ٧٠ ٪ من الوزن الجاف للبذور .

كذلك توجد زيوت طيارة (Ethereal oils) فى خـلايا أزهار بعض النباتات ، تكسب الأزهار رائحة زكية تجتذب إليها الحشرات التى تقوم بعملية التلقيح .

٤ – بللورات أكسالات الكالسيوم :

تتكون هذه البللورات فى الخلايا النباتية كبعض نواتج التحول الغذائى وقلما يخلو منها نبات أو عضو نباتى . وهى تنشأ داخل الفجوة العصارية ، وتزداد فى الحجم تدريجياً حتى تشغل معظم فراغ الخلية ، وتختفى المحتويات الأخرى ، وقد يصبح الجدار الخلوى نفسه فلينياً ، كما تصبح الخلية جميعها بمثابة مستودع للبللورة أو البللورات المتكونة فيها .

والبللورات إما أن تتكون فرادى ، واحدة داخل كل خلية ، كما فى الأثل (Tamarix) وبعض أنواع الموالح (شكل ٨١ : أ) ، وفى هـذه الحالة تكون البللورة كبيرة مضلعة ، أو فى مجموعات بحيث تحتوى الخلية الواحدة على عدد منها ، وبعض البللورات كبيرة الحجم نجمية الشكل كثـيرة النتوءات وتعـرف بالبللورات الوريدية (Rosette crystals or Druses) ، ومن أمثلتها البللورات الموجـودة فى سيقان وجذور القطن والأراليا (شكل ٨١ : ج) . وهنـاك أيضاً البللورات الإبرية (Raphides) وتتكون عادة فى حزم كبيرة داخل خلايا خاصة متميزة (شكل ٨١ : ب)

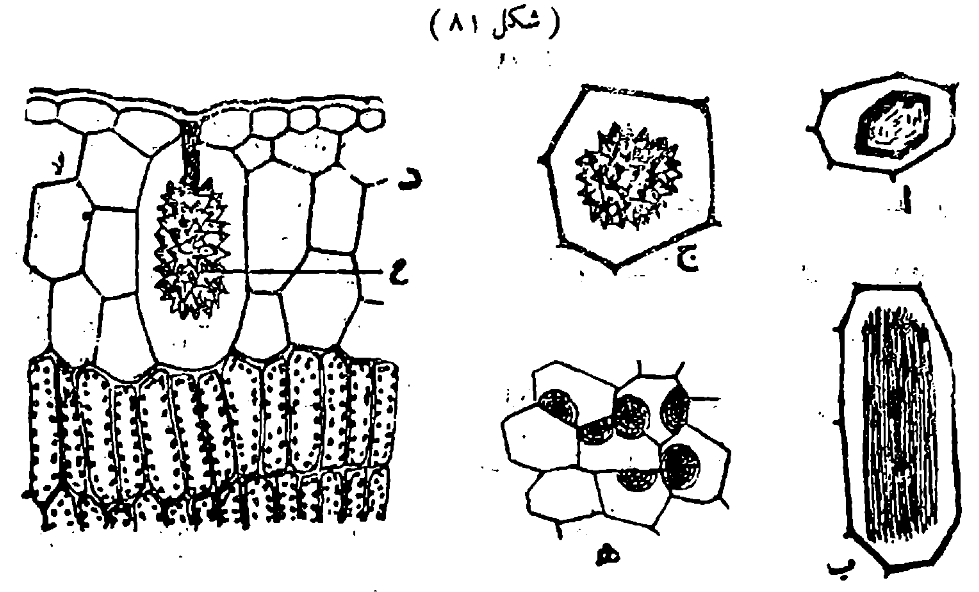
كما فى سيقان الدراسينا (Dracaena) ، والحزم الإبرية هى النوع الغالب بين نباتات ذوات الفلقة الواحدة .

وتنشأ بللورات أكسالات الكالسيوم أثناء عمليات التحول الغذائى ، وهى غير قابلة للذوبان ، ولذلك تحتفظ بحالتها الصلبة البللورية داخل الخلايا وتوجد عادة بوفرة فى الأنسجة والمواضع التى تنشط بها عمليات التحول الغذائى .

٥ — كربونات الكالسيوم :

تتكون أحياناً داخل الخلايا النباتية أجسام صلبة من كربونات الكالسيوم ومن أهم أمثلة هذه الظاهرة الحويصلة الحجرية (Cystolith) التى تتكون فى خلايا البشرة بنبات التين المطاط (Ficus elastica) إذ تكبر بعض خلايا البشرة فى أوراق هذا النبات وتتسع ، ويتدلى من جدارها الخارجى عنق طويل داخل الخلية ، تترسب عليه بللورات من كربونات الكالسيوم ، لا تزال تكبر وتتجمع حتى تكون جسماً عنقودياً كبيراً ، يشبه عنقود العنب (شكل ٨١ : د) ويشغل معظم فراغ الخلية ، ويتبقى جزء من العنق

(شكل ٨١)



(ا) بللورات منفردة فى نبات الأثل ، (ب) حزمة من البللورات الإبرية فى نبات الدراسينا ، (ج) بللورات وريدية فى لحاء جذور القطن المسنة ، (د) قطاع مستعرض فى نبات التين المطاط تظهر به الحويصلة (ح) ، (هـ) بللورات الانيولين مترسبة فى طبقات على جدر الخلايا فى الجذور الدرنية لنبات الداليا

عارياً من الرواسب ناحية الجدار الخارجي . ويمكن الكشف عن كربونات الجير فى الحويصلة الجيرية بإضافة بضع قطرات من حمض الإيدروكلوريك المخفف لقطاع فى ورقة نبات التين المطاط ، وملاحظة تصاعد فقاعات من غاز ثانى أكسيد الكربون ، فإذا فحص القطاع بعد ذلك لوحظ اختفاء الرواسب الجيرية المكونة للحويصلة .

٦ – القلوانيات (Alkaloids) :

القلوانيات هى مركبات عضوية نيتروجينية معقدة التركيب ، توجد إما فى حالة ذائبة فى العصير الخلوى وإما فى حالة صلبة ، وهى مواد سامة بعضها قوى المفعول ، ولها أهمية خاصة فى الطب . وتكثر القلوانيات فى فى بعض الفصائل النباتية كالفصيلة الشقيقية (Ranunculaceae) وفصيلة حنك السبع (Scrophulariaceae) والفصيلة الباذنجية (Solanaceae) والخيمية (Umbelliferae) ، وتعتبر هذه المواد نواتج ثانوية لعمليات التحول الغذائى . ويبين (جدول ١) بعض القلوانيات الهامة ومصادرها النباتية وبعض استعمالاتها الطبية .

٧ – الجليكوسيدات (Glycosides) :

تتركب الجليكوسيدات من جلوكوز – أو سكر آخر – متحداً مع مواد أخرى ، غالباً من المجموعة العطرية . ومن أمثلتها مادة الأميجدالين (Amygdalin) الموجودة فى نوى الخوخ والمشمش والبرقوق ، ومادة الساليسين (Salicin) الموجود فى الصفصاف ، وتستخرج الزيوت الحريفة التى تتميز بها نباتات الفصيلة الصليبية – كزيت المسطردة مثلا – من جليكوسيدات توجد بهذه النباتات . وتتحلل الجليكوسيدات بمساعدة إنزيم الإمالسين (Emusisin) إلى جلوكوز ومواد أخرى .

٨ – اليتوع « اللبن النباتى » :

اليتوع (Latex) مستحلب مائى أبيض – أو أصفر أحياناً – لخليط من مواد بروتينية ومخاطية وسكرية وأصباغ وقلوانيات وأملاح ودهون

(جدول ١)

(بعض القلوانيات النباتية ومصادرها وتأثيراتها الفسيولوجية)

اسم القلوانى	المصدر النباتى	التأثير الفسيولوجى
اتروبين (Atropine)	أتروبا بلادونا (Atropa belladonna)	يستعمل فى جراحة العيون، إذ يسبب محلوله اتساع حدقة العين .
إفيدرين (Ephedrine)	إفيدرا فولجاريس (Ephedra vulgaris)	تأثيره على العيون كتأثير الأتروبين . ويستعمل أيضاً كمطهر للحلق والأنف .
كينين (عقار الكينا) (Quinine)	قلف أنواع مختلفة من نبات الكينا (Cinchona)	يستعمل كدواء لأملاج الحميات المتقطعة كالملاريا وحمى المستنقعات .
كوكايين (Cocaine)	أوراق نبات الكولا (Erythroxylon coca)	يستعمل كمخدر موضعى فى جراحة العيـــون والأسنان .
هيوسيامين (Hyoscyamine)	نبات السكران (Hyoscyamus spp) الذى ينمو بالصحارى المصرية وغيرها	يستعمل فى نفس الأغراض الطبية التى يستعمل فيها الأتروبين
ستريكنين (Strychnine)	بذور شجرة الجوز المقيء (Strychnos nux-vomica)	عقار شديد السمية ويستعمل كمنبه للقلب والجهاز التنفسى .
كافيين (Caffeine)	شجرة البن (Coffea arabica)	منبه للجهاز العصبى

ودباغيات ، مع نسبة من مادة الكاوتشوك التى يصنع منها المطاط تختلف باختلاف النباتات ، ولكنها عالية فى نبات المطاط (Hevea braziliensis) بالذات ، لدرجة تسمح باستخدامه فى صناعة هذه المادة . وفى نبات الخشخاش يحتوى اللبن على قلوانى المورفين . أما الباباز (Carica papaya) فيحتوى على إنزيم البابايين (Papain) الذى يساعد على هضم المواد البروتينية. وتفرز اليتوع خلايا أو قنوات إفرازية خاصة منتشرة فى أنسجة النباتات.

٩ — الدباغيات (Tannins) :

الدباغيات مواد قابضة توجد فى القلف والخشب وغيرهما من أنسجة وأعضاء ، وهى تساعد على التئام الجروح ومنع التحلل ، وقد تلعب دوراً فى تكوين الفلين والأصباغ ، وتستغل فى بعض الصناعات مثل دباغة الجلود وصناعة الأصباغ والأحبار ، ففى دباغة الجلود تتفاعل الدباغيات مع الجيلاتين الموجود فى جلد الحيوان لتكوين مادة قوية متماسكة ، أما استغلالها فى صناعة الأصباغ والأحبار فيرتبط بقدرتها على التفاعل مع أملاح الحديد وتكوين مادة سوداء .

١٠ — أحماض عضوية (Organic acids) :

الأحماض العضوية واسعة الانتشار بين النباتات ، وتتركز بوجه خاص فى الثمار ، وهى توجد إما مستقلة فى صورة أملاح كالسيومية أو بوتاسيومية أو صوديومية ، وإما متحدة مع الكحول ، وتقوم بدور هام فى أيض النبات ونموه ، ومن أمثلة هذه الأحماض حمض الأوكساليك (Oxalic acid) الذى يوجد على هيئة أملاح البوتاسيوم فى نباتى الحميض (Oxalis) والحماض (Rumex) ، وحمض التفاحيك (Malic acid) فى ثمار التفاح الفجة والأعناب وغيرها من ثمار ، وحمض الطرطريك (Tartaric acid) الذى يوجد على هيئة أحد أملاحه البوتاسيومية فى أنواع متعددة من الثمار ، وخاصة الأعناب ، وحمض الليمونيك (Citric acid) الذى يوجد فى حالة حرة فى الليمون والبرتقال .

١١ - الفيتامينات (Vitamins) :

توجد الفيتامينات بكميات ضئيلة ، وتعد أساسية فى غالبية العمليات الأيضية ، بل وتعد ضرورية لجعل عمليات الأيض والنمو والتكاثر طبيعية ، وتعد النباتات بوجه عام المصادر الرئيسية للفيتامينات ، ويبين (جدول ٢) بعض الفيتامينات الموجودة فى النباتات .

١٢ - الإنزيمات (Enzymes) :

تعد الإنزيمات من أهم المحتويات غير الحية للخلية ، ويتركب كل منها من جزء بروتينى وآخر غير بروتينى يتباين من حيث تركيبه الكيميائى باختلاف وظيفة الإنزيمات ، كما تختلف هذه الإنزيمات فيما بينها من حيث ما تستطيع إتمامه من تفاعلات وسيأتى ذكر ذلك فى باب خاص بها .

ويرتبط توزيع هذه الإنزيمات بما يوجد فى الخلية من شتى العضيات ، فتقوم كل من الشبكة الإندوبلازمية والريبوسومات بدور هام من حيث احتوائها على إنزيمات تعمل على بناء المواد البروتينية ، كما تحتوى الميتوكوندريات على الإنزيمات التنفسية ، وهى الإنزيمات المختصة بالتفاعلات المولدة للطاقة فى الخلية ، أما الميكروسومات فتسيطر على إفراز الإنزيمات الهاضمة فى الخلايا الحية .

الجدار الخلوى

تحاط الخلايا النباتية عادة بجدار متين ، يعرف بالجدار الخلوى (cell wall) وهو يغلف البروتوبلاست ولا يعتبر من بين الأجزاء الحية بالخلية . وهناك أنواع خاصة من الخلايا النباتية - كالخلايا التناسلية مثلا - تظل عارية لا يغلفها جدار . والجدار الخلوى هو الذى يحدد شكل الخلية وذلك لأن البروتوبلاست يتكون من مادة سائلة أو نصف سائلة . ليس لها قوام متماسك ، وإنما تتشكل بشكل الجدار الذى يحتويها . ويؤدى الجدار وظيفة الحماية للبروتوبلاست ، كما يعطيها صلابة ومتانة ، وتحدث هذه

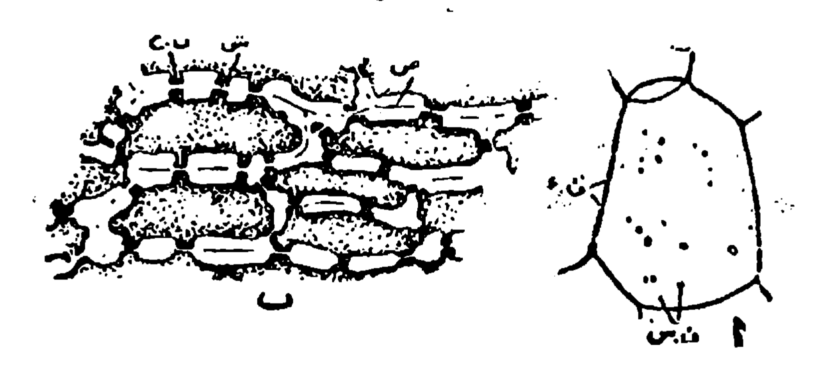
(جدول ٢)

جدول يبين بعض الفيتامينات الموجودة فى النباتات ، كما يبين المصدر النباتى لكل فيتامين وتأثيره العلاجى .

اسم الفيتامين	المصدر النباتى	التأثير العلاجى
فيتامين ا	يعد الكاروتين مولد هذا الفيتامين	مضاد لجفاف العين
فيتامين ب ١ (ثيامين)	حبوب القمح والشعير والأرز والشوفان والبقليات كالبسلة والفول والعدس	مضاد لمرض « البرى برى »
فيتامين ب ٢ (ريبوفلافين)	السبانخ الشعير	ينتج عن نقصه حدوث بعض التهابات جلدية وتكوين شعيرات دموية داخل قرنية العين
فيتامين ب ٦ (بيرودوكسين)	الحبوب والبقليات	ضرورى لتكوين هيموجلوبين الدم
فيتامين ب ٧ (حمض نيكوتينيك)	حبوب كثيرة	مضاد لمرض البلاجرا
فيتامين ج (حمض الأسكوربيك)	فى كثير من الفواكه والخضروات النضيرة وتعد الموالح أهم مصادره .	مضاد لمرض الأسقربوط

التقوية بتأثير عاملين هامين : الأول امتلاء الخلية — أى انتفاخها (Turgor) — والثانى تغلظ الجدار . وتفسير العامل الثانى هو أن الأغشية الأولية الرقيقة التى تنشأ بين الخلايا المتجاورة فى بدء تكوينها تتغلظ بالتدريج ، إما تغلظاً منتظماً يشمل الجدار كله أو تغلظاً غير تام تتخلف عنه أجزاء رقيقة تظل غير مغلظة ، وتعرف بالنقر (Pits) — شكل ٨٢ — وذلك هو الغـالب فى معظم الخلايا . وتبدو هذه النقر فى القطاع المستعرض كأجزاء غائرة عن مستوى سطح الجـدار ، تغطيها أغشية رقيقة تعرف بأغشية النقر (Pit membranes) ، وتتقابل النقر عادة فى الخـلايا المتجاورة مكونة أزواجاً نقرية (Pit psirs) متقابلة ، يفصل كل زوج منها غشاء مشترك . وتظهر فوهات النقر فى منظر سطحى كبقع مستديرة لامعة (شكل ٨٢) . وإذا زاد الجدار زيادة كبيرة فإن النقر تصبح عميقة ، وتتخذ شكل قنوات تصل ما بين فجوة الخلية وسطحها ، كما فى الخلايا الحجرية لثمار الجوافة والكمثرى (شكل ٨٣) ، وتسمى النقر فى هذه الحالة « نقر قنوية » (Canal pits) ، وقنواتها فى العادة ضيقة ، وقد تكون متفرعة .

(شكل ٨٢)

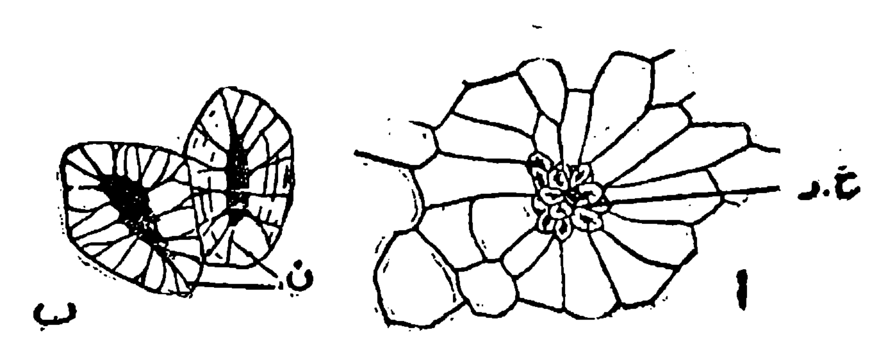


الجدر الخلوية المنقرة : (ا) خلية نخاع نبات البيلسان (Elder) ، (ب) قطاع فى جزء من الدوسبرم بذرة البلح ، (ش) غشاء النقرة ، (ص) الصفيحة الوسطى ، (ن . س) منظر سطحى للنقرة ، (ن ع) قطاع فى نقرة (عن فولر وسالسبورى) .

ويصحب الازدياد فى سمك الجدار ازدياد فى مساحة سطحه . غير أن النمو فى السطح يستمر بعض الوقت ثم يتوقف ، بينما يستمر النمو فى السمك

بعد توقف الازدياد فى مساحة السطح . ويحدث النمو فى السطح بشد الجدار وتوتره ، مع إفراز البروتوبلازم فى نفس الوقت لكميات جديدة من مادته وترسيبها على سطحه ، لتحفظ له سمكه ثابتاً رغم الشد ، وتعوض ما ينقص من سمكه نتيجة ازدياد سطحه ، وتعرف هذه الطريقة بالتراكم (Apposition) وقد تدمج المادة الجديدة إدماجاً بين جزيئات الجدار الأصلى ، وهو ما يعرف بالإدماج (Intussusception) أما النمو فى السمك فيحدث غالباً بالتراكم وحده ، أى بإضافة مواد جديدة على سطح الجدار الأصلى . وبهذه الطريقة تتميز فى الجدار طبقات متعاقبة متمركزة .

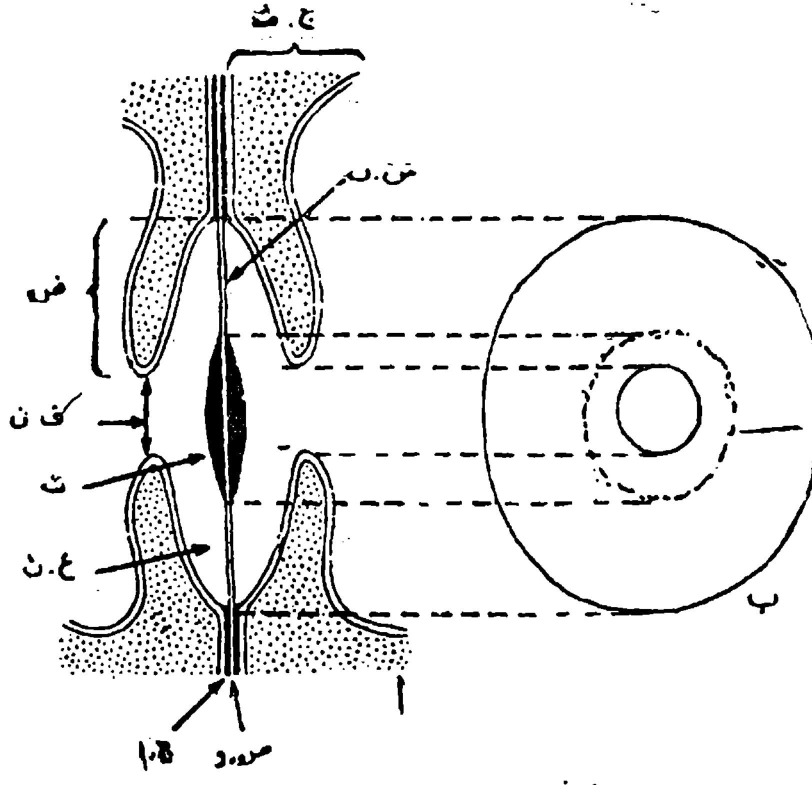
(شكل ٨٣)



النقر القنوية فى الخلايا الحجرية لثمار الكمثرى : (ا) مجموعة من الخلايا الحجرية (خ . ر) تحيط بها خلايا شعاعية رقيقة الجدر ، (ب) خليتان حجريتان مكبرتان وترى بهما نقر قنوية متفرعة (ن) تخترق الجدار السميك وتمتد إلى قرب السطح الخارجى (عن فرتش وسالسبورى) .

وهناك نوع آخر من النقر — يكثر فى قصيبات الصنوبريات خاصة — ويعرف بالنقر المضفوفة (Bordered pits) ، وهى توجد على الجدر التى تفصل بين قصيبتين متجاورتين (شكل ٨٥) ، وتتكون عادة فى أزواج متقابلة . إذ تترسب طبقات من اللجنين ترسباً منتظماً على سطحى الجدار الفاصل بين القصيبتين ، إلا فى مواضع النقر حيث يظل الجدار الأصلى رقيقاً ، وتنفصل عنه طبقة اللجنين ، وتبتعد متدرجة فى الرقة ،

(شكل ٨٤)



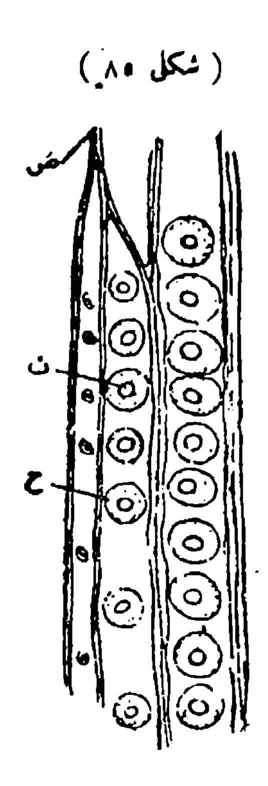
النقر المضفوفة : (أ) رسم توضيحي لجزء من قطاع فى خشب نبات الصنوبر تبين زوجا متقابلا من النقر المضفوفة فى قصيبتين متجاورتين ، (ب) منظر سطحي لإحدى النقر المضفوفة ويرى التخت النقرى (ت) ، والجدار الابتدائى (ج . ا) والجدار الثانوي (ع . ث) وغشاء النقرة (ش . ب) والصفيحة الوسطى (ص . و) والضفة (ض) وغرفة النقرة (غ . ن) ، وفتحة النقرة (ف . ن) (عن إسو)

ومكونة ما يعرف بالضفة (Border) . ولا تلتقى حواف الضفة فى الوسط ، بل تظل متباعدة لتترك فتحة مركزية ضيقة هى فتحة النقرة (ف . ن ، شكل ٨٤ : أ). ويبدو الثقب فى المنظر السطحى لامعاً فى وسط النقرة . ومن حوله الضفة المستديرة متوسطة التغلظ واللمعان . ومن خارج الضفة يوجد الجدار الملجنن الذى يبدو أدكن من ثقب النقرة وضفتها . ويتخلف بين الضفة وغشاء النقرة فراغ يعرف بغرفة النقرة (غ . ن ، شكل ٨٤ : أ) . ويتغلظ الجزء الأوسط من غشاء النقرة عادة — مكوناً ما يسمى بالتخت النقرى (Torus) — ويكون قطر التخت أكبر قليلا من قطر فتحة النقرة كما أنه يكون معلقاً من طرفيه بالغشاء الرقيق ، وبذلك يستطيع التحرك إذا زاد الضغط فى إحدى القصيبتين ليقفل الثقب ويمنع الاتصال .

وفى الأنسجة المفككة لساق الصنوبر ترى هذه النقر المضفوفة منظومة فى صفوف طولية ، وتمثل كل نقرة دائرتان ، إحداهما صغيرة داخلية تمثل فتحة النقرة ، والثانية حلقة خارجية — تحيط بالثقب — وتمثل الضفة (شكل ٨٥) .

وهنـاك أيضاً نقـر نصف مضفوفة (Half-brordered pits) تتكون إذا جاورت قصيبة خليـة بارنشيمية ، فيحـدث التغـلظ ، وتتـكون النقر على أحـد سطحى الجدار المشترك دون السطح الآخر إذ تتكون فى القصيبة دون الخليـة البارنشيمية ، ولا يحدث التضفيف إلا فى القصيبة وحدها .

(شكل ٨٥)



قصيبات نبات الصنوبر وبجدرها نقر مضفوفة . (ح) حافة النقرة المضغوط ، (ص) الصفيحة الوسطى ، (ن) فتحة النقرة المضفوفة .

(انقسام الخليـة)

تنشأ كل خلية نباتية من خلية سابقة عن طريق الانقسام ، وبعملية الانقسام — وما يتبعها من نمو فى الحجم — يزداد عدد الخلايا ويكبر النبات وتكون الخلية الناشئة فى أول تكوينها صورة مماثلة للخلية الأصلية ، تشتق منها جميع محتوياتها الحية . وفى بعض النباتات الأولية — كطحلب السبيروجيرا مثلا — تستطيع جميع الخلايا أن تنقسم لتعطى خلايا جديدة ، أما فى النباتات الراقية — كالنباتات الزهرية — فهناك مناطق نمو خاصة ، هى وحدها التى تستطيع خلاياها أن تنقسم لتحدث النمو فى النبات ، وتوجد هذه المناطق فى قمة الجذر والساق وفى بعض مواضع أخرى من جسم النبات وتسمى الخـلايا القابلة للانقسام خلايا إنشائية أو مرستيمية

(Meristematic cells) ، وتلعب النواة دائماً الدور الرئيسى فى عمليات الانقسام . وهناك ثلاثة أنواع من الانقسام الخلوى : الانقسام المباشر أو اللافتيلى (Amitosis) ، وغير المباشر أو الفتيلى (Mitosis) ، والاختزالى (Meiosis) .

١ – الانقسام المباشر أو اللافتيلى :

يحدث هذا الانقسام أحياناً فى النباتات الأولية ، ويندر حدوثه فى النباتات الراقية ، وفيه تتخصر النواة فى وسطها بالتدريج ، حتى تنقسم إلى قسمين ، قد لا يكونان متساويين أو متماثلين ، ثم يتكون فى وسط البروتوبلاست جدار جديد يفصل النواتين الناشئتين . وبذلك يتم تكوين خليتين بنويتين من الخلية الأصلية .

٢ – الانقسام غير المباشر أو الفتيلى :

هذا النوع من الانقسام أكثر شيوعاً من الانقسام المباشر – خاصة فى النباتات الراقية – ويعد فى الوقت نفسه أكثر تعقيداً . ويتم حدوثه على عدة خطوات أو أطوار ، هى : الطور التمهيدى (Prophase) ، والطور الاستوائى (Metaphase) ، والطور الانفصالى (Ansphase) ، والطور النهائى (Telophase) . ويمكن مشاهدة هذه الأطوار فى قطاع طولى رقيق بالقمة النامية لجذر نبات زهرى أو ساقه – بعد حفظه وصبغه بصبغ مناسب ثم فحصه بالقوة الكبيرة للمجهر ، وذلك لأن استطالة الجذر والساق وتكون الفروع والأعضاء المختلفة – التى يشتمل عليها المجموعان الخضرى والجذرى – يحدث بانقسام مجموعة من الخلايا الإنشائية موجودة فى هذه القمم النامية ، ويستحسن استعمال البادرات فى هذا الفحص بدل النباتات البالغة . وتعرف النواة غير المنقسمة بالنواة « الساكنة » ، وهى تسمية تنطوى على كثير من التجاوز ، لأنها فى هذه الحالة نشيطة فى أداء الكثير من الوظائف الأخرى . والنواة الساكنة بيضية الشكل أو مستديرة ، بداخل غشائها شبكة كروماتينية

بها نوية أو أكثر (شكل ٨٦ : ١) ، وتجويفها الداخلى مملوء بالعصير النووى . وتنغمس الشبكة الكروماتينية فى طبقة محيطية من هذا السائل أكثر كثافة ولزوجة من بقيته .

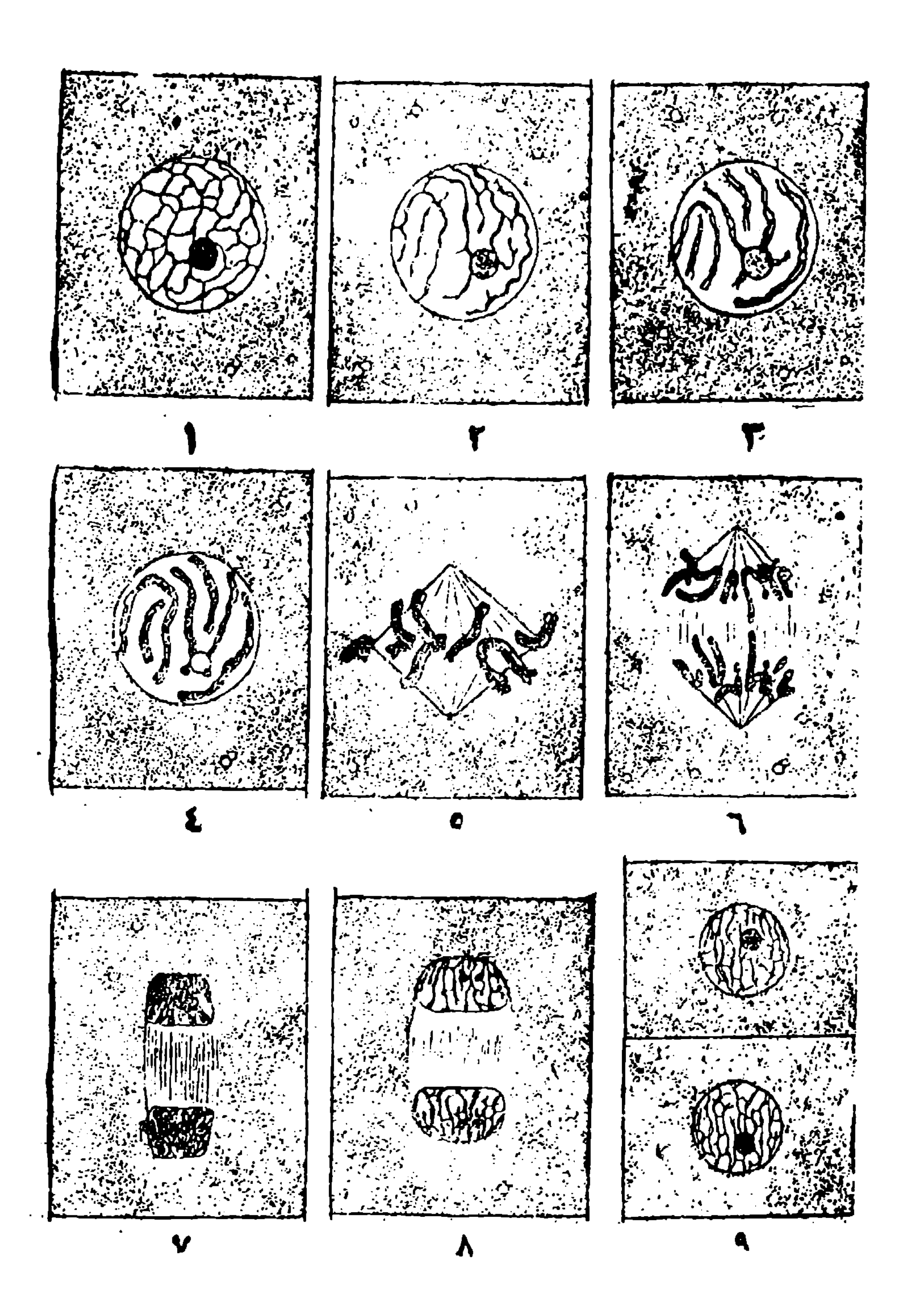
وفيما يلى وصف للأطوار المتعاقبة فى الانقسام الفتيلى :

الطور التمهيدى : يبدأ انقسام الخلية بتجزؤ الشبكة الكروماتينية إلى عدد من الخيوط المزدوجة طولياً ، تبدأ رفيعة ثم تزداد فى السمك وتقل فى الطول ، وتعرف بالصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ويتكون كل صبغى من نصفين طوليين يعرف كل منهما بالنصف صبغى أو الكروماتيد (Chromatid) (شكل ٨٦ : ٢ – ٤) ، ويتلاقى كروماتيدا كل صبغى فى نقطة قرب أحد طرفيه ، تعرف بالسنترومير (Centromere) . وفى نهاية هذا الطور التمهيدى تختفى النويات بالتدريج بسبب امتصاص مادتها أثناء تكون الصبغيات ، كما يختفى الغشاء النووى أيضاً . كذلك تقصر الصبغيات وتتغلظ ، وتصبح ناعمة ملساء بعد أن كانت خشنة السطح .

وعدد الصبغيات ثابت فى النوع الواحد ، ويختلف من نوع لآخر . وتتميز الأنواع المختلفة بعدد صبغياتها ، وفى معظم النباتات لا يقل عدد الصبغيات عن ستة ، ويصل إلى ١٢ فى الفول و٢٠ فى الذرة . ولكل صبغى شكل خاص وحجم ثابت يحتفظ بهما فى الأجيال المتعاقبة ، وينتقلان بالوراثة من الخلايا الأبوية إلى الخلايا البنوية .

الطور الإستوائى : تصبح الصبغيات بعد اختفاء الغشاء النووى متصلة مباشرة بالسيتوبلازم المركزى ، وفى الوقت نفسه تزداد كثافة هذا السيتوبلازم وتظهر فيه عدة خيوط دقيقة مكونة ما يسمى بالمغزل (Spindle) . وتشع الخيوط المغزلية من نقطتين فى طرفى الخلية تعرفان بالقطبين (شكل ٨٦ : ٥) وتتجه نحو مركز الخلية ، وتكثر الخيوط المغزلية بالتدريج ، وتمتد فى وسط الخلية وتتلاقى الأشعة الصادرة من القطبين فى الوسط . ولم تعرف بعد طبيعة هذه الخيوط المغزلية على وجه التحقيق ، وإن كان يظن أنها خيوط

(شكل ٨٦)



الأطوار المختلفة للانقسام الفتيلي : (١) طور السكون ، (٣ — ٤) الطور التمهيدى ، (٥) الطور الاستوائى ، (٦) الطور الانفصالى . (٧ — ٩) الطور النهائى .

سيتوبلازم كثيف . تغير الصبغيات بعد ذلك مواضعها ، وتتجمع فى وسط الخلية وتنتظم فى قرص واحد يعرف بالقرص الاستوائى — لوجوده فى خط استواء الخلية — ويتصل كل صبغى عند السنترومير بأحد الخيوط المغزلية .

الطور الانفصالى : فى هذا الطور — وأحياناً فى أواخر الطور الاستوائى تنشق السنتروميرات فى الصبغيات الأصلية ، وينتج عن ذلك انفصال الكروماتيدات ، أى أنصاف الصبغيات . بعد ذلك تتباعد الكروماتيدات ، ويتجه الكروماتيدان الناشئان من كل صبغى فى اتجاهين متضادين ، كل منهما إلى قطب من قطبى المغزل . وبذلك يخص كل نواة من النواتين الجديدتين عدد متساو من الصبغيات المماثلة (شكل ٨٦ : ٦) ، وتكون قسمة المادة الكروماتينية بين الخليتين عادلة . وفى الطور الانفصالى تتخذ أنصاف الصبغيات شكل الحرف (U) أو الحرف (V) وتتجه الأنحناءات الوسطية تجاه قطبى المغـــزل .

الطور النهائى : فى هذا الطور يكتمل تكوين النواتين الجديدتين ، وذلك لأن الصبغيات عندما تبلغ قطبى المغزل تتزاحم مع بعضها البعض . وتطرأ عليها عادة تغيرات ، فى عكس اتجاه التغيرات التى حدثت فى الأدوار الأولى لعملية الانقسام ، ومن شأن هذه التغيرات أن تؤدى إلى اختفاء فردية الصبغيات وتحولها إلى شبكة كروماتينية ، بتكوين أجزاء مستعرضة تصل بعضها ببعض ، وفى الوقت نفسه يفرز السيتوبلازم المغلف لكل نواة غشاء نووياً جديداً ، يفصل النواة عن السيتوبلازم ، بعد ذلك تكبر النواتان الجديدتان حتى تصلا إلى حجم النواة الأصلية ، وبذلك يتم تكوين نواتين ساكنتين تشبهان النواة التى تكونتا منها ، لكل نواة غشاؤها وشبكتها الكروماتينية ، كما تظهر فيهما النويات من جديد ، وتحتوى كل نواة جديدة نصفا من كل صبغى من صبغيات الخلية الأم .

وبالإضافة إلى الخيوط المغزلية الشاذة التى بدأ ظهورها فى الطور الاستوائى واتصلت بها الصبغيات ، تظهر خيوط جديدة فى هذا الطور

(شكل ٨٦ : ٦ — ٨) تصل ما بين النواتين ، وتمتد فى وسط الخلية من قطب إلى قطب . وتستمر هذه الخيوط الجديدة فترة من الزمن بعد تكوين النواتين البنويتين . وتتكون عليها فى وسطها انتفاخات عند خط استواء الخلية ، قد تكون ناشئة عن تحور فى البروتوبلازم بتلك المنطقة . وتصبح هذه الانتفاخات أكثر وضوحاً عندما تمتد فى وسط الخلية فى اتجاه أفقى ، أى فى وضع مستعرض ، ثم تتلاقى هذه الانتفاخات فى النهاية مكونة حاجزاً كاملا من السيتوبلازم المتحور ، يعرف بالصفيحة الخلوية (Cell plate) . ولا تلبث هذه الصفيحة أن تزداد صلابة بترسب مادة البكتين (Pectin) فيها ، فتتحول بذلك إلى ما يسمى بالصفيحة الوسطى (Middle lamella) ، ثم تترسب طبقة من السليلوز على كل جانب من جانبى الصفيحة الوسطى ، وتتكون الطبقات الثلاث مجتمعة ما يسمى بالجدار الابتدائى (Primary wall) ، وقد يستمر هذا الجدار فى الخلية البالغة دون تغير ، أو تترسب عليه طبقات إضافية من السليلوز أو اللجنين ، مكونة بذلك جداراً ثانوياً للخلية . وتخترق جدار الخلية خيوط سيتوبلازمية دقيقة — وهى الروابط البلازمية — التى سبق ذكرها فى الباب السابق .

٣ — الانقسام الإختزالى :

يحدث هذا النوع من الانقسام فى الأعضاء التناسلية وحدها ، وينشأ عنه تكوين أمشاج (أى خلايا تناسلية) ذات عدد مختزل من الصبغيات ، يبلغ نصف عددها فى خلايا الجسم . وفى عملية الإخصاب — عندما تتحد الخليتان الذكرية والأنثوية لتكوين اللاقحة — تعود الصبغيات إلى سابق عددها ، وسنرجىء شرح تفاصيل هذه الطريقة إلى القسم الخاص بالوراثة .

يتضح مما تقدم أن نواة الخلية البنوية مشتقة دائماً من نواة الخلية الأم ، وهذه الحقيقة تنطبق بوجه عام على الأحياء النباتية والحيوانية ، ولم يعرف قط أن نواة فى خلية بنوية نشأت من السيتوبلازم فى خلية أبوية ، وبالمثل يحتمل أن البلاستيدات تتكاثر هى الأخرى بانقسام بلاستيدات سابقة ، وأن كمية السيتوبلازم تزداد زيادة كبيرة أثناء الازدياد فى الحجم الذى يعقب الانقسام ، ولكنها زيادة فى كمية مادة كانت موجودة من قبل ، ولم تنشأ

من أصل مستقل وبعبارة أخرى يمكن اعتبار أى جيل أنه امتداد للجيل الذى سبقه ، مما يفسر استمرارية الحياة .

وفى انقسام الخلايا تتوزع مادة النواة — وبخاصة مادة الصبغيات — بالتساوى بين النواتين البنويتين ، مما يدل على أن الكروماتين ذو أهمية كبيرة فى حياة الخلية ، بل وفى حياة الكائن الحى بأجمعه ، وأن الصبغيات تؤدى الدور الأول فى نقل الصفات الوراثية من جيل إلى جيل . وهناك عدد محدود من الصبغيات فى كل نواة ، وإذا حدث أى اختلاف عن العدد المميز للنوع فإنه يكون فى العادة ناشئاً عن عدم انفصال بعض الصبغيات وبقائها متصلة الأطراف . ويختلف أحياناً حجم الصبغيات فى نواة ما ، ويكون هذا الاختلاف صفة مميزة للنوع ، تتوارث وتنتقل من خليه إلى أخرى فى عمليات الانقسام .

* * *

الباب الثامن

الأنسجة

الخلية هى الوحدة التشريحية للنبات . والنبات إما أن يكون وحيد الخلية أو متعدد الخلايا . وليس سوى النباتات الأولية وحدها — كبعض أنواع الطحالب والبكتيريا والفطريات — هى التى يتركب كل نبات منها من خلية واحدة ، تؤدى جميع وظائف الحياة على نحو مبسط . وهناك أيضاً قلة من النباتات — متعددة الخلايا — ولكن تتشابه خلاياها شكلا ووظيفة . ومن أمثلتها النباتات ذوات الأجسام الخيطية التى يتركب كل منها من خيط واحد ، يمثل صفاً من خلايا متماثلة ، وتؤدى جميع الخلايا وظائف متشابهة ، وتستطيع كل خلية القيام بجميع وظائف الحياة . ومن أمثلتها أيضاً النباتات التى تكون مستعمرات بسيطة — كبعض الطحالب الخضر — حيث تتشابه الخلايا من جميع الوجوه وتؤدى كل خلية جميع الوظائف .

ومع زيادة التعضى (Organisation) — الذى يصحب التدرج فى الرقى — يحدث توزيع للعمل أو تخصص فسيولوجى بين الخلايا ، مصحوب بتحور فى الشكل والتركيب بما يلائم الوظيفة التى يقوم بها كل نوع منها ، ومن هنا نشأت الأنسجة (Tissues) ، ليؤدى كل نسيج وظيفة بذاتها . والأنسجة هى مجموعات من الخلايا المتماثلة ، يوجد كل منها فى مواضع معينة من جسم النبات ، وتتشابه خلاياها شكلا وتركيباً ووظيفة ، ويفصل كل خلية عن جارتها جدار خلوى . ويوجد عدد كبير من هذه الأنسجة فى كل نبات لتؤدى الوظائف المتعددة التى يحتاج إليها . فالأصل فى تكوين الأنسجة إذن أن يختص كل نسيج بوظيفة معينة ، وأن تتعاون جميع الأنسجة على تهيئة أسباب النمو والحياة للنبات . وتقوم الروابط البلازمية (Plasmodesmata) بوصل المادة الحية فى جميع خلايا النسيج الواحد ، وبذلك لا تقف الجدر المحيطة بالخلايا حائلا دون اتصالها ، الذى يعتبر ضرورياً لأداء الوظائف الحيوية . والجدار فى الوقت نفسه هيكل تقوى به الخلية وتصان .

ويمكن تمييز مجموعتين من أنواع الأنسجة فى النباتات الراقية :

١ ــ **الأنسجة الإنشائية** (Meristematic tissues) :

٢ ــ **الأنسجة المستديمة** (Permanent tissues) :

وسنتحدث فيما يلى بشئ من التفصيل عن أنواع الأنسجة فى كل من هاتين المجموعتين .

(الأنسجة الإنشائية)

تتكون هذه الأنسجة من خلايا مكعبة الشكل تقريباً ومتساوية الأقطار ، أو منضغطة ومستطيلة ، جدرها رقيقة ، ممتلئة امتلاء تاماً بالسيتوبلازم ، نواتها كبيرة ، خالية من الفجوات العصارية ، ليس بينها فراغات هوائية تفصلها ، قادرة على الانقسام وإنتاج خلايا جديدة . وتوجد الأنسجة الإنشائية فى الجنين ، كما توجد أيضاً بالنباتات البالغة فى القمم النامية للجذور والسيقان . وكذلك فى مواضع خاصة داخل الأعضاء المسنة ، وتنقسم من حيث نشأتها إلى أنسجة إنشائية ابتدائية وأخرى ثانوية .

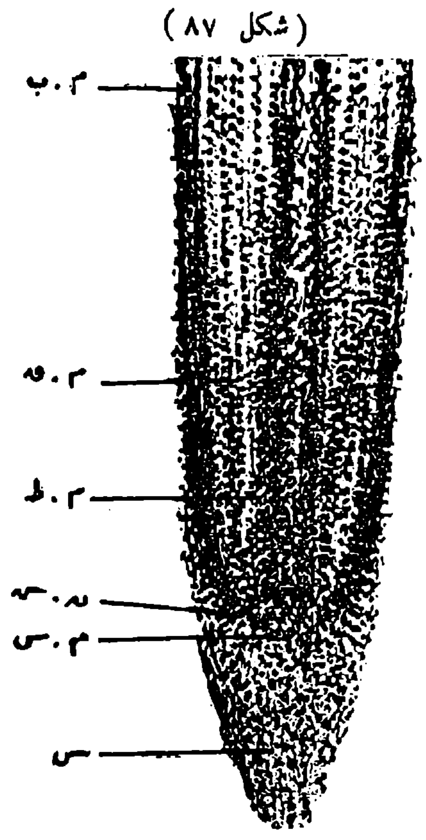
١ ــ الأنسجة الإنشائية الابتدائية :

تشمل هذه الأنسجة الجنين كله ، وهو ينشأ من انقسام اللاقحة ، أى الخلية التناسلية الملقحة ، كما توجد أيضاً فى النبات البالغ بالقمم النامية للسيقان والجذور ، وفى بدايات الأوراق (Leaf primordia) وغيرها من النتوءات المماثلة كبدايات الأزهار ، وكذلك فى الأجزاء البالغة المشتقة مباشرة من أنسجة القمم ، والمستمرة النشاط منذ نشأتها الأولى من تلك القمم ، ومن أمثلتها الكامبيوم الحزمى فى السيقان الحديثة لذوات الفلقتين ، لأنه ناشئ من منشئ الأسطوانة الوعائية (Plerome) الموجودة فى القمة النامية . وكذلك الأنسجة الإنشائية البينية (Intercalary meristems) الموجودة عند قواعد السلاميات فى سيقان بعض ذوات الفلقة الواحدة ، وعند قواعد الأوراق أحياناً ، إذ تحتفظ خلايا هــذه الأنسجة بحيويتها ونشاطها لفترة ما ، وتنقسم لتزيد من طول السلامى أو طول الورقة .

ويسمى النسيج الإنشائى الموجود فى القمم النامية ، نسيجاً إنشائياً قمياً (Apical meristem) ، وهو يتميز إلى بضعة أنواع من الأنسجة الإنشائية ، مستمدة جميعها من أصل واحد يعرف بالنسيج الإنشائى الأولى (Promeristem) وهو أقرب الأجزاء إلى القمة .

ومن الممكن دراسة التركيب التشريحى للقمة النامية بعمل قطاع طولى رقيق فى طرف الجذر (شكل ٨٧) أو قمة الساق (شكل ٨٨) ، وفحصه بالمجهر بعد صبغه بصبغ مناسب . فى هذا القطاع يظهر النسيج الإنشائى الأولى قريباً من القمة . ويلاحظ أن خلايا هذا النسيج تكون جميعاً متشابهة ، وتصطبغ بلون أدكن من بقية أجزاء القمة النامية . وبازدياد البعد عن طرف الساق أو الجذر يأخذ النسيج الإنشائى الأولى فى التميز إلى الأنواع الآتية من الأنسجة الإنشائية الابتدائية :

(شكل ٨٧)



(شكل ٨٠) قطاع طولى فى قمة جذر الفول : (س) قلنسوة ، (م.ب) منشىء البشرة (م.ق) منشىء القشرة ، (م.س) منشىء القلنسوة ، (م. ط) منشىء الاسطوانة الوعائية ، (ن . ش) النسيج الانشائى الأولى (عن ماكلين وكوك) .

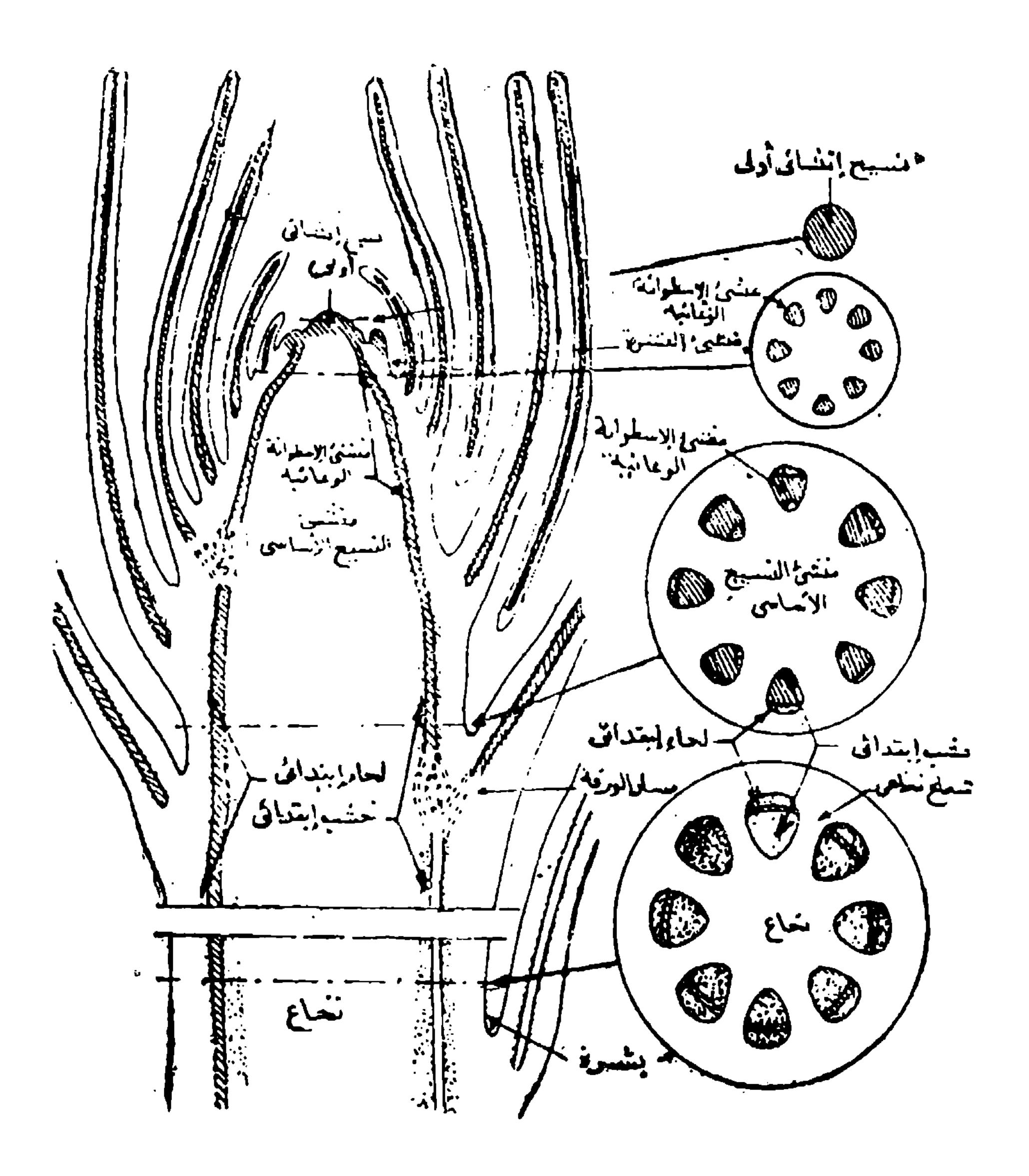
أ – منشىء البشرة (Dermatogen) :

وهو طبقة واحدة من الخلايا تغلف القمة النامية للساق والجذر ، وتكون البشرة (Epidermis) فى الأجزاء البالغة من الساق والطبقة الوبرية (Piliferous layer) فى الأجزاء البالغة من الجذر .

ب – منشىء القشرة (Periblem) :

وهو عديد الطبقات ، ويلى منشىء البشرة ، ويكون القشرة (Cortex) فى الأجزاء البالغة من الجذر والساق .

(شكل ٨٨)



رسوم تخطيطية لقطاعات طولية (إلى اليسار) ولقطاعات مستعرضة (إلى اليمين) في ساق لنبات مختلف الأنسجة الإنشائية ، الابتدائية منها والمستديمة . وترى من الأنسجة الإنشائية الإبتدائية منشئات البشرة والنسيج الوسطى والإسطوانة الوعائية ، ومن الأنسجة المستديمة الإبتدائية الخشب الابتدائي واللحاء الابتدائي والاشعة النخاعية الاصلية .

جـ منشىء الأسطوانة الوعائية (Plerome) : وهو أيضاً عديد الطبقات . ويمثل الجزء الأوسط من النسيج الإنشائى القمى ، ويكون الحزم الوعائية والنخاع فى الأجزاء البالغة .

د - منشىء القلنسوة (Calyptrogen) : وهو نسيج إنشائى خاص بالجذور دون السيقان ، ويعطى القلنسوة (Calyptra or root cap) التى تتكون إلى الخارج عند الطرف الأمامى للقمة النامية . ووظيفة القلنسوة حماية القمة النامية من التمزق نتيجة احتكاكها بالتربة أثناء اختراقها لها فى نموها . وتتمزق الطبقات الخارجية من القلنسوة باستمرار ، وتتكون عوضاً عنها طبقات جديدة فى الناحية الداخلية ، نتيجة لنشاط منشئ القلنسوة .

وهناك تقسيم آخر للأنسجة الإنشائية فى القمة النامية ، فيه يعتبر منشئ القشرة والجزء المركزى من منشئ الأسطوانة الوعائية نسيجاً إنشائياً واحدا ، يطلق عليه اسم منشئ النسيج الأساسى (Ground meristem) . وهو يكون من الأنسجة البالغة القشرة والنخاع والأشعة النخاعية الأصلية والطبقة المحيطية.

٢ - الأنسجة الإنشائية الثانوية :

هذه الأنسجة مشتقة إما من أنسجة إنشائية ابتدائية ، فقدت قدرتها على الانقسام لفترة من الزمن ، ثم عاد إليها النشاط من جديد ، أو من أنسجة مستديمة . فالكامبيوم الحزمى فى السيقان الحديثة مثلا يعتبر نسيجاً إنشائياً ابتدائياً ، لأنه تكون من منشئ الأسطوانة الوعائية فى القمة النامية . أما فى السيقان المسنة ذات التغلظ الثانوى فإنه يعتبر نسيجاً إنشائياً ثانوياً ، لأن نشاطه لم يستمر بل توقف فترة بعد تكونه ، ولم يستأنف إلا عند بدء التغلظ الثانوى ، حيث أخذ ينقسم بجدر محيطية ، ليعطى أنسجة مستديمة ، هى اللحاء الثانوى إلى الخارج والخشب الثانوى إلى الداخل .

أما الكامبيوم بين الحزمى فإنه ينشأ من خلايا مستديمة تقع فى الأشعة النخاعية الأصلية على استقامة الكمبيوم الحزمى ، وتنقسم هى الأخرى عندما يبدأ التغلظ الثانوى بجدر محيطية لتعطى لحاء وخشباً ثانويين ، ولذلك يعتبر

هذا الكامبيوم بين الحزمى نسيجاً إنشائياً ثانوياً . والكامبيوم الفلينى هو الآخر نسيج إنشائى ثانوى ، لأنه ينشأ فى طبقة من الخلايا المستديمة ، تنشط فى الانقسام بجدر محيطية لتعطى عدة طبقات من نسيج مستديم هو الفلين .

(الأنسجة المستديمة)

تختلف خلايا الأنسجة المستديمة عن خلايا الأنسجة الإنشائية فى كون الأولى فقدت قدرتها على الانقسام ، وهى أكبر حجماً من الثانية ، وتحتوى قدراً أقل من البروتوبلازم ، وفجوتها العصارية كبيرة وهى أحياناً خلايا ميتة تماماً . والنسيج المستديم مجموعة من الخلايا – متشابهة من حيث الشكل والوظيفة – وتحتوى بعض الأنسجة على فراغات بين خلاياها ، وفى بعضها تتغلظ جدر الخلايا أو تطرأ عليها تغيرات كيميائية .

وفى فترة تحول الأنسجة الإنشائية إلى مستديمة تكبر الخلايا وتنفصل عن بعضها البعض فى مواضع خاصة من جدرها – غالباً عند الأركان – وتتغلظ الجدر أو تتغير كيميائياً ، كما تتحور محتوياتها الحية ، أو تختفى تماماً .

(المجاميع النسيجية)

تترتب الأنسجة المستديمة داخل الأعضاء النباتية المختلفة فى ثلاثة مجاميع رئيسية ، تعرف بالمجاميع النسيجية (Tissue Systems) ، وهى :

١ – **مجموع الأنسجة الأساسية** (Ground or fundamental tissue system) .

٢ – **مجموع الأنسجة الجلدية أو الضامة** (Dermal or boundary tissue system) .

٣ – **مجموع الأنسجة الوعائية أو التوصيلية** (Vascular or conducting tissue system) .

مجموع الأنسجة الأساسية

فى سيقان وجذور ذوات الفلقتين وجذور ذوات الفلقة الواحدة تتميز الأنسجة الأساسية إلى قشرة ونخاع وأشعة نخاعية ، أما فى سيقان ذوات الفلقة الواحدة فتكون الحزم الوعائية مبعثرة فى غير انتظام داخل النسيج الأساسى ، ولذلك لا تتميز فى قطاعها المستعرض مناطق كتلك الموجودة فى ذوات الفلقتين .

وأهم أنواع الأنسجة الأساسية فى هذا المجموع هى ما يأتى :

أ - الأنسجة البارنشيمية (Parenchyma tissues) .

ب - الأنسجة الكولنشيمية (Collenchyma tissues) .

ج - الأنسجة السكلرنشيمية (Sclerenchyma tissues) .

د - الأنسجة الإفرازية (Secretory tissues) .

ويعرف النوعان الثانى والثالث باسم الأنسجة « الميكانيكية » أو «الدعامية» لأن جدر الخلايا فيهما مغلظة لتأدية وظائف التقوية والتدعيم ، لمقاومة العوامل التى تعرض النبات للكسر أو الانثناء .

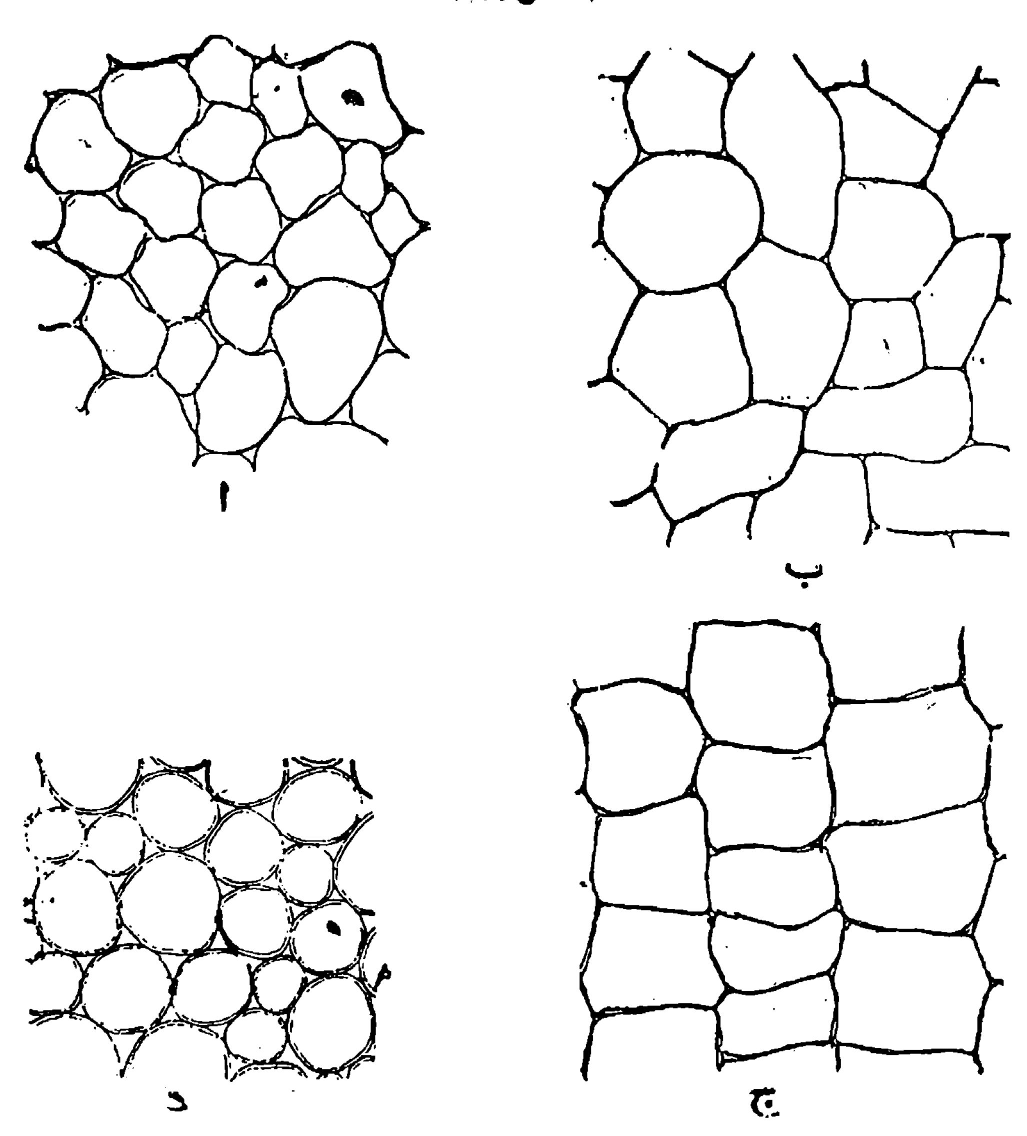
وسنتحدث فيما يلى عن كل نوع من هذه الأنسجة بشئ من التفصيل .

(أ) الأنسجة البارنشيمية :

تتميز خلايا الأنسجة البارنشيمية (شكل ٨٩) بتساوى أقطارها تقريباً ويتكون جدارها من مادة السليلوز - الذى يتلجنن قليلا فى بعض الأحيان كما فى بارنشيمة الخشب الثانوى - وبه فى العادة نقر بسيطة ، بيضية أو مستديرة . وتحتوى الخلية على جانب من البروتوبلازم ، ولذلك فهى خلية حية ، وفى وسطها فجوة عصارية أو فجوات مختلفة الأحجام وممتلئة بالعصير . وتحتوى الخلية البارنشيمية أحياناً على مواد غذائية ، كما يحتوى السيتوبلازم على بلاستيدات خضر إما ملونة وإما عديمة اللون . ويوجد النشا غالباً داخل البلاستيدات . ويتخلل النسيج البارنشيمى عادة جهاز متصل للتهوية ، مكون من فراغات بينية .



(شكل ٨٩)



أنواع مختلفة من الخلايا البارنشيمية : (ا — ج) خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، (د) وخلايا بارنشيمية ملجننة الجدر (عن ايمز وماك دانيلز) .

وتؤدى الأنسجة البارنشيمية عدداً من الوظائف المختلفة ، أهمها فى النبات البالغ وظائف البناء الضوئى والتهوية ، واختزان الأغذية وتوصيلها . وتقوم بوظيفة البناء الضوئى أنسجــة بارنشيمية تمثيلية (Assimilating parenchyma) توجــد فى الأوراق والسيقــان العشبية الخضر ، وكذلك فى الأطراف الغضة الحديثة للسيقان الخشبية . ويعرف النسيج التمثيلى فى الأوراق باسم النسيج الوسطى (Mesophyll) وفى السيقــان باسم النسيج

الكلورنشيمى (Chlorenchyma tissue) ، وتقع الأنسجة البارنشيمية التمثيلية فى الأجزاء السطحية المعرضة للضوء ، وتمتلىء خلاياها بالبلاستيدات الخضر .

ويعزى احتفاظ الخلايا البارنشيمية بصلابتها وتماسكها — رغم رقة جدرها إلى امتلائها بالعصير الخلوى الذى يساعد على امتصاصها للماء أزموزياً وانتفاخها .

الأنسجة الدعامية :

لكى يستطيع النبات أن يؤدى وظائفه الحيوية على وجه مرض يجب أن يكون على درجة كافية من الصلابة ، تحفظ له شكله وقوامه ، وتمنعه من التهدل . وهذه الصلابة مكفولة فى الخلايا المنفردة بضغط الامتلاء ، وفى الأجزاء النامية بتوتر الأنسجة . بيد أن ضغط الامتلاء وتوتر الأنسجة يفقدان سريعاً إذا فقد النبات جانباً من مائة ، فيؤدى ذلك إلى ذبول النبات ، ولذلك فإن هذين العاملين لا يفيان وحدهما بحاجة النبات الكبير — ذى الخلايا الكثيرة — من الصلابة والتقوية ، ومن هنا كانت ضرورة وجود أنسجة خاصة بالتدعيم فى النباتات الراقية ، وهذه الأنسجة هى الكولنشيمية والسكلرنشيمية .

(ب) الأنسجة الكولنشيمية : هى أنسجة حية ، مكونة من خلايا مستطيلة بعض الشيء ، غير مدببة الأطراف جدرها مغلظة تغليظاً غير منتظم (شكل ٩٠) ولكنهـا غير ملجننة . والوظيفة الأساسية لهذه الأنسجة هى التقوية والتدعيم ، ويساعد على ذلك تغلظ خلاياها وطريقة توزيعها فى النبات .

والأنسجة الكولنشيمية تشبه البارنشيمية فى احتواء خلاياها على بروتوبلاست ، غير أن تلك الخلايا تكون أكثر طولا عادة وأقل اتساعاً من الخلايا البارنشيمية . وعندما يتعاقب النسيجان فى أى عضو نباتى ، فإن الانتقال من أحدهما إلى الآخر يكون تدريجياً ، إذ تتسع الخلايا بالتدريج . وترق

جدرها وتنتظم فى السمك كلما انتقلنا من نسيج كولنشيمى إلى آخر بارنشيمى .

وتمتد مشابهة الخلايا الكولنشيمية للبارنشيمية أيضاً إلى احتواء كلا النسيجين على بلاستيدات خضر ، وإلى قدرتهما على الاشتراك فى النشاط التمثيلى وعلى النمو . ولهذه المشابهات مجتمعة ، يعتبر النسيج الكولنشيمى أحياناً نوعاً من الأنسجة البارنشيمية تغلظت جدره الثانوية بشكل خاص ، أهله للاضطلاع بوظيفة التقوية والتدعيم .

(شكل ٩٠)

الخلايا الكولنشيمية : (ا) جزء من نسيج كولنشيمى فى ساق أحد النباتات الزهرية ، (ب) خلية كولنشيمية منفردة ، ويرى بها الجدار السليلوزى غير منتظم التغلظ ، تبطنه من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم المحيطى تنغمس فيه النواة . (ب) بشرة ، (د) أدمة .

وتوجد الأنسجة الكولنشيمية فى الأعضاء النامية بالنباتات الخشبية ، وكذلك فى الأعضاء البالغة بالنباتات العشبية التى لم يطرأ عليها تغلظ ثانوى يذكر . وهى تعتبر الأنسجة الدعامية الأولى فى كثير من السيقان والأوراق وبخاصة فى الأوراق البالغة لنباتات ذوات الفلقتين ، ويندر وجود الخلايا الكولنشيمية بجذور ذوات الفلقة الواحدة وأوراقها .

وتقع الأنسجة الكولنشيمية عادة فى الأجزاء الخارجية من السيقان ، أى الأجزاء القريبة من السطح ، فهى توجد فى القشرة ، إما تحت البشرة مباشرة أو مفصولة عنها بطبقة أو طبقتين من خلايا بارنشيمية ، وتكون بالقشرة أسطوانة كاملة أو متقطعة ، وفى الحالة الأخيرة تفصل أجزاءها

قطع من نسيج بارنشيمى . أما فى السيقان المضلعة – كسيقان اللوف والقرع – وفى أعناق الأوراق ، فإنها توجد بالأركان ، وفى أنصال الأوراق تتركز عند العروق ، إما من ناحية أحد السطحين فقط أو من الناحيتين معاً .

وأهم ما تتميز به الخلية الكولنشيمية هو شكل التغلظ فى جدرها ، فالجدر كما ذكرنا مغلظة تغلظاً غير منتظم ، وبطريقة تختلف فى النباتات المختلفة . فالأركان – وهى ملتقى الخلايا المتجاورة – تكون فى العادة أكثر تغلظاً من بقية أجزاء الجدار ، وفى هذه الحالة تبدو فجوات الخلايا مستديرة تقريباً فى القطاع المستعرض (شكل ٩٠) . وفى أخرى تظل الجدر رقيقة فيما عدا الأركان ، ولذلك تبدو الفجوات مضلعة ، وأحياناً توجد فراغات بينية واضحة فى الأنسجة الكولنشيمية ، ويحدث التغلظ فى أجزاء الجدار التى تحد تلك الفراغات .

ومواد التغلظ فى جدر الخلايا الكولنشيمية هى السليلوز ، وهى نفس المواد التى تتركب منها جدر الخلايا البارنشيمية الحية ، وتحتوى على نسبة عالية من الماء . ويبدأ التغلظ المميز للخلايا الكولنشيمية مبكراً أثناء نموها وتمدد جدرها ، وقد لوحظ أن درجة التغلظ تزداد إذا تعرضت النباتات لرياح شديدة إبان فصل النمو .

ويساعد النسيج الكولنشيمى على تأدية وظيفته الأساسية وهى التقوية – إلى جانب تغلظ جدره – صفات أخرى أهمها تزاحم الخلايا واندماجها مع بعضها البعض لصغرها ، وانعدام أو ضيق الفراغات الهوائية بينها ، وصغر النسبة بين مساحة فجواتها ومساحة النسيج كله . ومع هذا فإن مرونة جدرها تسمح باستطالتها وتغير شكلها عندما تتمايل الأغصان وتهتز تحت وطأة الرياح دون أن ينقص ذلك من قوتها شيئاً . كما أن قدرتها على الاستطالة تلائم مقتضيات النمو فى السيقان الحديثة ، ولذلك فهى توجد بوفرة فى الأجزاء التى لا تزال فى دور الاستطالة .

وتجمع الخلايا الكولنشيمية بين الصلابة والمرونة ، أى قابلية التشكل والانثناء ، ولهذه المرونة أهميتها الخاصة فى الأعضاء النامية التى تحتاج فيها الخلايا إلى تغيير شكلها وطولها وسمكها باستمرار ، بيد أنها تقل تدريجياً كلما تقدم النبات فى السن ، إذ تصبح الأنسجة الكولنشيمية فى الأعضاء المسنة أشد صلابة وأكثر قابلية للكسر مما كانت عليه فى الأنسجة الحديثة النامية .

(ج) الأنسجة السكلرنشيمية : تتركب الأنسجة السكلرنشيمية من خلايا مغلظة الجدر ، ملجننة غالباً ، وظيفتها الأساسية التقوية والتدعيم . فهى تعين الأعضاء النباتية على احتمال مختلف المؤثرات الميكانيكية — كالشد والضغط — دون إضرار بما تحتويه هذه الأعضاء من خلايا ضعيفة ذات جدر رقيقة ، على أن الخلايا السكلرنشيمية تختلف عن الكولنشيمية فى عدم وجود الجدر الأولية المرنة المحتوية على نسبة عالية من الماء .

وتختلف الخلايا السكلرنشيمية فيما بينها اختلافاً كبيراً من حيث الشكل والأصل والتركيب وطريقة التكوين . وهناك نوعان رئيسيان من هذه الخلايا الألياف (Fibres) والخلايا الحجرية (Stone cells) . والفروق كثيرة بين هذين النوعين ، فالألياف طويلة مدببة الأطراف بينما الخلايا الحجرية قصيرة ، كما أن النقر أكثر وضوحاً فى الثانية منها فى الأولى . على أن أهم الفروق بين النوعين فرق متعلق بمنشئهما ، فالخلايا الحجرية ذات أصل بارنشيمى ، نشأت من حدوث تلجنن ثانوى فى جدر بعض الخلايا البارنشيمية ، أما الألياف فذات أصل ابتدائى ، لأنها تنشأ من خلايا إنشائية تتلجنن جدرها فى دور مبكر .

والخلايا السكلرنشيمية هى فى الغالب خلايا ميتة عند اكتمال تكوينها ، إذ أنها فى ذلك الطور لا تحتوى شيئاً من المادة البروتوبلازمية الحية . وهذه الصفة — بالإضافة إلى الجدر الثانوية الملجننة — تميز هذا النوع من الأنسجة عن الأنسجة البارنشيمية والكولنشيمية . ومع ذلك فهناك أنواع من الخلايا

غير السكلرنشيمية لها جدر ثانوية ملجننة ، ولكنها تحتفظ بمحتوياتها الحية ، ومن أمثلتها الخلايا البارنشيمية الملجننة كبارنشيمة الخشب .

الألياف : توجد الألياف بالسيقان متجمعة فى حزم أو أسطوانات داخل القشرة ، كما توجد أيضاً متناثرة أو متجمعة داخل أنسجة الخشب ، وداخل أنسجة اللحاء أحياناً . وفى سيقان ذوات الفلقة الواحدة تكون الألياف أغماداً حول الحزم ، وتلتحم أغماء الحزم الخارجية أحياناً التحاماً غير منتظم ، مكونة جهازاً دعامياً متيناً تحت البشرة . أما فى أوراق تلك النباتات فتوجد أربطة من الألياف فوق الحزم وتحتها ، تصلها بالسطحين العلوى والسفلى .

وفى سيقان ذوات الفلقتين توجد الألياف بوفرة خارج الحزم الوعائية وتكون أسطوانة كاملة فى قشرة بعض النباتات كالقرع والجارونيا . وفى عدد من النباتات التى لا تتغلظ تغلظاً ثانوياً توجد بعض الألياف من الناحيتين الداخلية والخارجية للحزم . أما فى النباتات التى تحتوى على حزم ذات جانبين فتوجد بعض الألياف أحياناً فى اللحاء الداخلى ، إلا أن أهم مواضع الألياف فى سيقان ذوات الفلقتين هى الخشب الابتدائى والخشب الثانوى وتوجد الألياف فى الجذور بالقشرة والأسطوانة الوعائية.

وتوجد بجدر الألياف عادة نقر بسيطة مائلة ، عدسية الشكل ضيقة (شكل ٩١) . ويختلف طول الألياف كثيراً فى النباتات المختلفة ، إذ يبلغ فى المتوسط ١ — ٢ ملليمتراً ، ولكنه يصل إلى ٢٠ — ٤٠ ملليمتراً فى الكتان ، وإلى أكثر من ذلك فى بعض نباتات الألياف الأخرى ذات الأهمية الاقتصادية . ومما هو جدير بالذكر أن مادة التغليظ فى جدر ألياف الكتان

(شكل ٩١)



(شكل ٩٢)
ری إلى اليمين لبنة سكرانشيمية بجدارها نقر بسيطة ، وإلى اليسار جزء من قطاع مستعرض فى ألياف

هى السليلوز ، ويؤدى تدبب أطراف الألياف إلى إحكام اتصالها مع بعضها البعض ، مما لا يتوفر مثله فى الأنسجة الأخرى .

الخلايا الحجرية : وهى موزعة على نطاق واسع داخل جسم النبات ، فهى توجد فى قشرة ونخاع بعض النباتات ذوات الفلقتين ومعراة البذور ، إما منفردة أو متجمعة . كما أنها توجد أيضاً فى الخشب واللحاء وفى أوراق بعض النباتات ، وبخاصة نباتات المناطق الحارة . وفى ثمار بعض النباتات وبذورها ، وفى بعض الثمار اللحمية - كثمار الجوافة والكمثرى - تنتشر هذه الخلايا فى الأنسجة الطرية ، فى مجاميع صغيرة ، تحيط بها خلايا بارنشيمية شعاعية الشكل (شكل ٨٣) . وفى البذور ذات القصرة الصلبة المتخشبة ترجع الصلابة غالباً إلى وفرة الخلايا الحجرية .

ويختلف سمك الجدر الثانوية فى الخلايا الحجرية المختلفة ، وهى جدر ملجننة عادة ، فإذا كانت رقيقة نسبياً فإن الخلايا الحجرية يصعب تمييزها من الخلايا البارنشيمية ، أما إذا كانت سميكة فإنها تتميز بسهولة . وفى كثير من الخلايا الحجرية ، يكاد يمتلىء تجويف الخلية بمواد التغليظ الجدارى امتلاء تاماً ، وتظهر فى الجدر الثانوية نقر تشبه القنوات ، وهى فى الغالب نقر بسيطة ، وفى ثمار الكمثرى والجوافة تكون النقر قنوات عميقة ، ضيقة ومتفرعة ، وفى بعض أنواع الخلايا الحجرية تظهر مادة التغليظ الثانوى فى طبقات متعاقبة . وأحياناً يكون التغليظ غير منتظم ، فتصبح بعض أجزاء الجدر أكثر تغليظاً من بعضها الآخر .

وبالإضافة إلى الأنسجة الكولنشيمية والسكلرنشيمية تقوم أنسجة التوصيل أيضاً - وبخاصة الأنسجة الخشبية - بدور هام فى تقوية الأعضاء النباتية وتدعيمها .

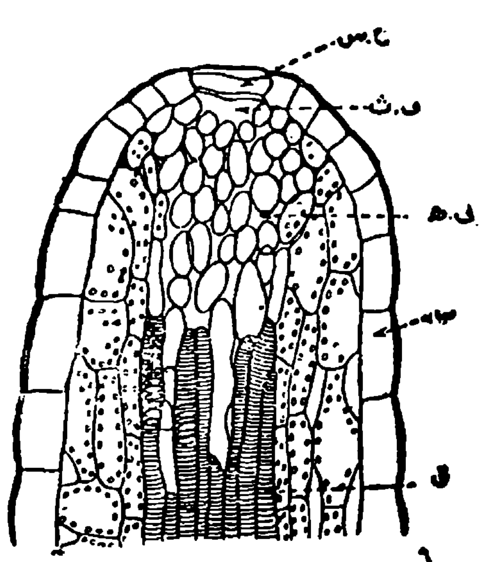
(د) الأنسجة الإفرازية :

تتكون الأنسجة الإفرازية من غدد أو قنوات . والغدد إما سطحية أو داخلية ، وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا . وتحمل النباتات آكلة الحشرات على

سطوح أوراقها زوائد غدية (Tentacles) تستعمل فى اقتناص الحشرات وهضمها . ومن الغدد السطحية أيضاً ما يتخذ شكل أجزاء متحورة من البشرة وليس له شكل الشعرة أو الزائدة المستطيلة . ومن أمثلة هذا النوع الأقراص الرحيقية (Nectaries) التى توجد فى معظم الأزهار ، كما توجد أحياناً فى الأوراق والسيقان . وفى هذا النوع من الغدد لا يغطى سطح البشرة بأدمة ، وإنما تتكون البشرة من خلايا إفرازية ضيقة . غنية بالمواد البروتوبلازمية وتعرف بالطبقة الطلائية (Epithem) .

ومن أنواع الغدد أيضاً الثغور المائية (Hydathodes) ، التى اختصت بإفراز الماء فى صورته السائلة (شكل ٩٢) ، وهى ثغور متحورة ، مفتوحة الخلايا البشرية الطلائية . وتوجد باستمرار ، تمدها بالماء من خلفها حزمة وعائية ، منتهية بمجموعة الخلايا البشرية الطلائية . وتوجد هذه الثغور المائية عادة عند أركان حافة النصل فى أوراق بعض النباتات ، كنبات أبى خنجر (Tropaeolum) ونبات زهرة الربيع (Primula sinensis) وتفرز فى الجو الرطب قطرات من الماء ترى عالقة بأركان النصل حيث تنتهى العروق .

(شكل ٩٢)

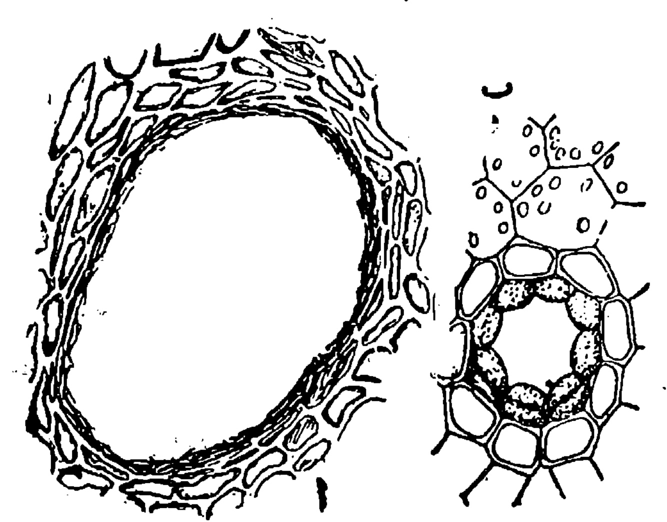


قطاع طولى فى حافة احدى أوراق « زهرة الربيع » يبين تركيب الثغر المائى: (خ س) خلية حارسة ، (ف ث) فجوة الثغر ، (ف هـ) فراغ هوائى (ب) بشرة ، (ق) القصيبة (عن هولان)

أما الغدد الداخلية ، فتتخذ شكل فجوات داخل الأنسجة . وتنشأ إما بانقراض بعض الخلايا تاركة فراغاً تتجمع فيه المواد المفرزة (شكل ٩٣ : ا) ، وتوصف الغدد فى هذه الحالة بأنها « انقراضية » (Lysigenous) ، وتحيط بتجويفها عادة بقايا متمزقة من الخلايا المنحلة . أو تتفرق الخلايا بعد ذوبان

صفائحها الوسطى . وفى هذه الحالة يكون تجويفها أكثر انتظاماً فى الشكل منه فى الغدد الانقراضية ، ويعرف هذا النوع بالغدد الانفصالية (Schizo-genous glands). وتنقسم الخلايا المحيطة بها أنقساماً محيطياً لتنتج طبقة من خلايا طلائية صغيرة ، تحد تجويف الغدة ، وهى خلايا إفرازية نشيطة (شكل ٩٣ : ب) .

(شكل ٩٣)



الغدد الداخلية : (ا)- الإنقراضية ، (ب)- الإنفصالية

والغدد الانقراضية كرية الشكل عادة ، ومن أمثلتها معظم الغدد التى تفرز المواد العطرية فى الأزهار والأوراق، وفى أغلفة بعض الثمار كثمار الموالح ، ومنها البرتقال واليوسفى ، أما الغدد الانفصالية فهى أحياناً مستديرة ولكنها فى الغالب تستطيل وتتخذ شكل قناة ، تمتد وتتفرع فى سائر النبات . وتحتوى هذه الغدد عادة على زيوت طيارة أو تربينات (Terpenes) مثل زيت التربنتينا فى نبات الصنوبر ، وأحياناً تفرز مواد مخاطية كما هو الحال فى كثير من النباتات .

وهناك - بالإضافة إلى ما تقدم - قنوات لبنية (Laticiferous ducts) تمتد فى سائر أجزاء النبات ، وتفرز مايسمى « اليتوع أو اللبن النباتى » (Latex) ولا تمثل هذه القنوات فراغات بينية ، بل أنابيب عظيمة الطول تتجمع بداخلها الإفرازات (شكل ٩٤) ، وتنشأ هذه القنوات غالباً بالتحام صفوف رأسية من الخلايا يكون كل صف منها قناة واحدة متصلة بعد انقراض ما بينها من جدر طرفية فاصلة، وتعرف فى هذه الحالة بالأوعية اليتوعية (Laticiferous vessels) . وهى إما أن تظل غير متفرعة ، أو تتلاقى وتلتحم ، مكونة

جهازاً يتفرع بين الخلايا البارنشيمية . وأحياناً تتكون القنوات من استطالة خلية واحدة بدرجة خارقة للعادة ، وتعرف فى هذه الحالة بالأنابيب أو الخلايا اليتوعية (Laticiferous tubes or cells) .

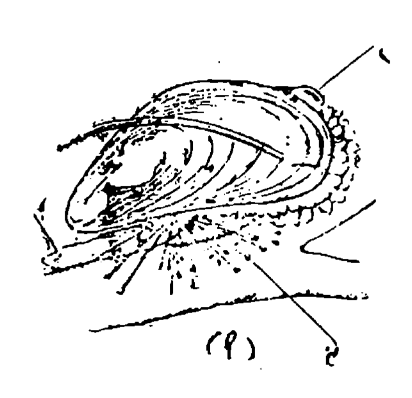
والقنوات اليتوعية بنوعيها عناصر حية رقيقة الجدر ، تبطن جدرها من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم ، تغلف فجوة أنبوبية واسعة ، تمتلىء باليتوع المفرز . وتوجد بطبقة السيتوبلازم أنوية عديدة صغيرة الحجم ، موزعة فى سائر أجزاء القناة ، وناشئة عن انقسام النواة الأصلية ، الذى يستمر باستمرار الزيادة فى طول القناة . وتبدو هذه القنوات مستديرة فى القطاع المستعرض (شكل ٩٥) ، لاتختلف فى الحجم اختلافا يذكر عن الخلايا البارنشيمية المحيطة بها ، وإن بدت أحياناً أدكن منها ، بسبب وجود اليتوع الذى يصبح داكنا عندما يتعرض للهواء .

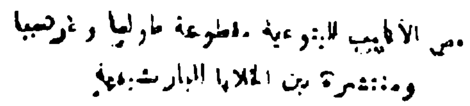
(شكل ٩٤)



قنوات يتوعية فى جذر نبات أسنان السبع (Târaxacum)

(شكل ٩٥)




بعض الأنابيب اليتوعية مقطوعة طوليا وعرضيا ومنتشرة بين الخلايا البارنشيمية

ويوجد اليتوع بنوع خاص فى الفصائل السوسبية (Euphorbiaceae) والتوتية (Moraceae) ، والخشخاشية (Papaveraceae) ، والعشارية (Asclepiadaceae) والمركبة (Compositae) .

(مجموعة الأنسجة الضامة)

تحتاج الأنسجة الداخلية للنباتات الراقية عادة إلى الوقاية من المؤثرات الخارجية المختلفة ، كعوامل التبخر الجوية التى تسبب فقد كميات كبيرة من ماء النبات ، وعوامل التجريح والتمزيق ، وما شابههما من أضرار ، كما تحتاج إلى ما يحول دون فقدانها لكميات كبيرة من المواد الغذائية القابلة للانتشار .

وتقوم بمثل هذه الوقاية أنسجة تنفرد بمميزات تركيبية خاصة ، هى أنسجة البشرة والفلين . أما النسيج الفلينى (Cork tissue) فهو نسيج ضام ثانوى ليس له أصل فى الأعضاء الحديثة ، ولكنه يحل فى الأعضاء المسنة محل البشرة الممزقة ، ويكون غلافا يحيط بالسيقان والجذور المسنة ليقيها مختلف المؤثرات ، وسنرجىء التحدث عنه بالتفصيل إلى باب تال ، ونقصر الحديث هنا على النسيج البشرى (Epidermal tissue) .

(النسيج البشرى)

يختلف النسيج البشرى عن النسيج الفلينى بأنه نسيج مستديم ابتدائى ، لأنه نشأ من نسيج إنشائى ابتدائى ، هو منشىء البشرة فى القمة النامية ، ومع أنه يغلف النبات تغليفاً وافيا فإنه يسمح بتبادل المواد المختلفة بين النبات والوسط المحيط به ، ويضم النسيج البشرى ما يأتى : (أ) الخلايا البشرية ، (ب) الثغور (ج) الشعيرات والزوائد السطحية .

(أ) الخلايا البشرية : تتكون البشرة عادة من طبقة واحدة من الخلايا الحية ، ليس بينها فراغات هوائية . وتبدو الجدر الجانبية لهذه الخلايا متعرجة فى بشرة الأوراق إذا فحصت فى منظر سطحى . أما فى القطاع المستعرض فإن الخلايا تبدو منتظمة غاية الانتظام ، ومتساوية العمق ، سواء فى السيقان والأوراق ، وهى مستطيلة أو عدسية الشكل ، ويكون السيتوبلازم طبقة رقيقة تبطن جدرها من الداخل وتغلف فجوة كبيرة مملوءة بعصير خلوى ، عديم اللون غالباً أو ملون أحياناً . وفى النباتات الراقية لاتحتوى خلايا البشرة

عادة على أية بلاستيدات خضر ، سواء فى الأوراق أو السيقان ؛ فيما عدا نباتات الظل والنباتات المائية ، ولكن توجد تلك البلاستيدات فى بشرة النباتات اللازهرية — كالسراخس — وفى هذه الحالة تشترك البشرة فى عملية التمثيل .

وتتغلظ الجدر الخارجية لخلايا البشرة عادة ، وتتغطى فى الأعضاء الهوائية بأدمة (Cuticle) من مادة الكيوتين ، تختلف سمكا باختلاف النباتات والبيئات التى تعيش فيها . وتكون هذه الأدمة غطاء متصلا على سطح البشرة غير نفاذ أو قليل الإنفاذ ، سواء للماء أو للغازات . ولذلك فإن الأدمة ذات أثر فعال فى تقليل ما يفقد بالنتح من ماء النبات ، وكلما زاد سمكها زادت قدرتها على تقليل النتح . ويفيد تغلظ الأدمة والجدار الخارجى للبشرة أيضاً فى تقوية تلك الطبقة وجعلها صلبة كبيرة الاحتمال . وفى كثير من الأعضاء النباتية يترسب الشمع فوق أدمة البشرة ، ولذلك ينحسر عنها الماء إذا سقط عليها دون أن يبللها ودون أن يمتصه النبات . ويكون الشمع أحياناً طبقة رقيقة فوق سطح الأدمة ، كما فى ثمار البرقوق وسيقان قصب السكر . وأحياناً تترسب السيليكا أو الحجر الجيرى فى الجدر الخارجية لخلايا البشرة ، فيزيدها ذلك صلابة وقوة ، كما فى النجيليات .

(ب) الثغور : لما كانت البشرة خالية من الفراغات البينية ، ومغطاة بأدمة تكاد تكون غير نفاذة ، وتعوق إلى حد ما تبادل الغازات بين الأنسجة الداخلية للنبات والهواء الجوى ، ولما كانت أهم الوظائف الحيوية التى يقوم بها النبات — وهى وظائف البناء الضوئى والتنفس والنتح — تعتمد على هذا التبادل الغازى ، فقد أصبح ضرورياً أن تخترق البشرة ثقوب وظيفتها توصيل جهاز التهوية الممثل بالفراغات البينية داخل جسم النبات بالهواء الجوى خارجه . هذه الثقوب تنتشر بغزارة على سطوح الأوراق والسيقان العشبية الخضراء ، وهى مقصورة على أعضاء النبات المعرضة للضوء والهواء ولا وجود لها فى الأجزاء الأرضية ، ويحيط بكل ثقب خليتان تعرفان بالخليتين الحارستين ، ويعرف الثقب والخليتان بالثغر أو الجهـــاز الثغرى (Stoma or stomatal apparatus) . وتؤدى فتحة الثغر إلى قناة قصيرة ، وتحدها على جانبيها

الخليتان الحارستان (Guard cells) ، وهما خليتان كلويتا الشكل كما يبدوان فى منظر سطحى (شكل ٩٦ : أ—١) ، وتوجد أكبر الثغور حجما فى النجيليات حيث تتخذ الخلايا الحارسة شكلا صولجانياً (شكل ٩٦ : ب) والثغور أكبر بوجه عام فى نباتات البيئة الرطبة الظليلة منها فى نباتات البيئة الجافة المكشوفة .

وتخترق القناة الثغرية البشرة ، وتنتهى من أسفل بفراغ بينى كبير يعرف بالغرفة تحت الثغرية (Substomatal chamber) (شكل ٩٧) . وتتصل هذه الغرفة بجهاز المسافات البينية المتشعب فى الأنسجة البارنشيمية .

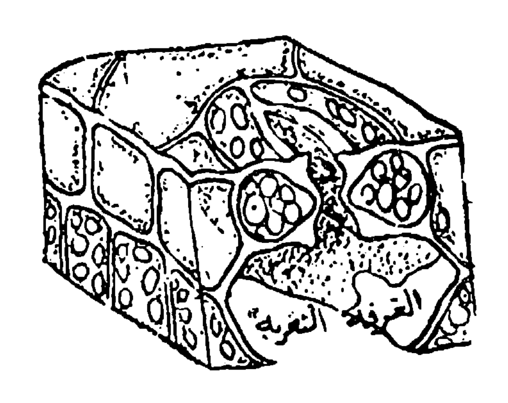
(شكل ٩٦)

(أ) ثغر من نوع الثغور المميزة للفصيلة النرجسية ، (ب) ثغر من ثغور الفصيلة النجيلية (١) منظر سطحى ، (٢) قطاع رأسى . تمثل الخطوط الثقيلة شكل الثغر فى حالة التفتح ، أما الخفيفة فتمثل شكله فى حالة الانغلاق ، ويلاحظ فى (ب : ١، ٢) وجود خليتين مساعدتين على جانبى الخليتين الحارستين (عن ستراسبرجر)

وتحتوى الخلايا الحارسة دائماً على بروتوبلاست ونواة كبيرة وكذلك على بلاستيدات خضر ، وهى وحدها بين جميع خلايا البشرة التى تحتوى على حبيبات نشوية صغيرة من نوع النشا الانتقالى وتتميز الخلايا الحارسة أيضاً بعدم انتظام التغلظ فى جدرها المختلفة ، فالجدر رقيقة فى الناحية الظهرية للثغر — أى البعيدة عن القناة — وسميكة فى الناحية البطنية المحددة للقناة (شكل ٩٦ : أ—٢) ، وحتى الجدار البطنى لا ينتظم التغلظ فى جميع أجزائه ، إذ أنه أغلظ فى طرفيه الخارجى والداخلى منه فى الوسط . وفى بعض الأحيان تتكون فى هذه الأجزاء الطرفية من الجدر البطنية نتوءات صغيرة من مادة التغلظ ، تتجه جانبياً تجاه وسط الثقب (شكل ٩٧) ويبرز الجزء الأوسط الرقيق من الجدار البطنى لكلا الخليتين الحارستين داخل

القنـــاة ، فيقسمها إلى غرفتين خارجية وداخلية أمام الجـــزء الأوسط المختنق وخلفه (شكل ٩٦ : أ–٢) ، ويبدو هذا التركيب واضحاً فى قطاع مستعرض فى ورقة خضراء أو ساق حديثة ، وهو يساعد على تفتح الثغور وانغلاقها حسب حاجة النبات فعندما تمتلئ الخلايا الحارسة بالماء وتنتفـــخ فإن الأجزاء الرقيقـــة من جدر الخلايا الحارسة تتمدد ، وبذلك يقل تقوس الأجزاء الرقيقة التى بوسط الجدر البطنية ، أى يزداد تفلطحها ، فتتباعد ، وينفتح الثغر. أما إذا فقدت الخلايا الحارسة جانباً كبيراً من مائها فإن انتفاخها يقل ،

(شكل ٩٧)



رسم توضيحى يبين جزءاً من أحد الثغور فى منظر سطحى وقطاعا رأسيا فى الثغر تظهر به الخلايا الحارسة والقناة الثغرية منتهية من أسفل بالغرفة تحت الثغرية

فيقل تبعاً له الضغط على الجدر الرقيقة ، وبذلك يزيد تقوس الأجزاء الوسطى من الجدر البطنية ، أى ينقص تفلطحها ، فتتقارب أو تتلاقى ، ويضيق الثغر أو ينغلق ، أما الأجزاء السميكة فلا يطرأ عليها تغيير يذكر لصلابتها .

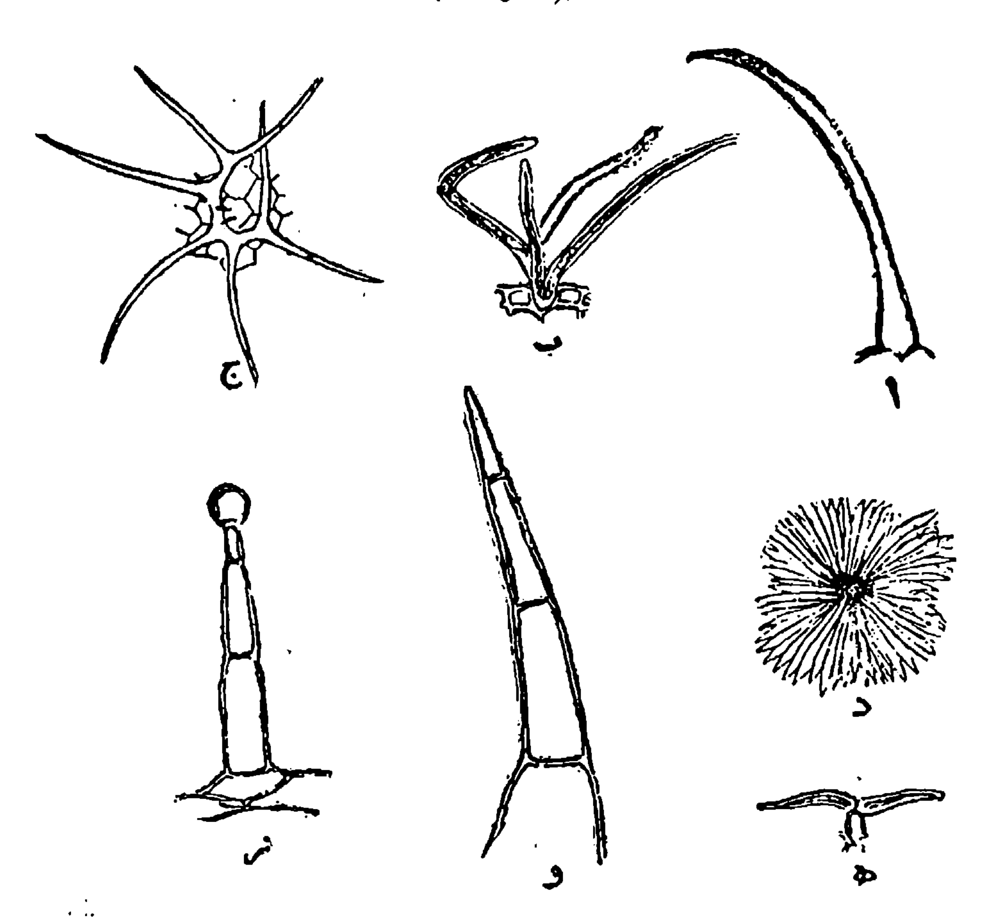
ولتفتح الثغور نهاراً وانغلاقها ليلا علاقة وثيقة بتغيرات الضغط الأزموزى لعصيرها الخلوى ، والضغط الأزموزى بدوره يتأثر بالعوامل الخارجية ، وأهمها الضوء ، كما سيأتى فى قسم وظائف الأعضاء . وتنظم الثغور عمليات النتح وتبادل الغازات فى النبات . وكثيراً ما تحاط على جانبيها بخلايا خاصة — تسمى الخلايا الإضافية (Subsidiary cells) — تكون فى العادة أقل تغلظاً من بقية خلايا البشرة وتؤدى دوراً مساعداً فى عملية انفتاح الثغور وانغلاقها (شكل ٩٦ : ب) .

وفى كثير من النباتات ، كنباتى الصبار **(Aloe)** والرتم **(Retama raetam)**— والأخير نبات جفافى واسع الانتشار فى الصحارى المصرية—تنخفض الثغور عن مستوى سطح العضو الناتج ، فيحميها ذلك من التعرض المباشر لتأثير عوامل

التبخير الجوية . وهذه الظاهرة أكثر ما تكون وضوحاً فى نباتات المناطق الجافة ، حيث الحاجة شديدة إلى اختزال النتح .

(ج) الشعيرات والزوائد السطحية (Hais or Trichomes) : تحمل البشرة فى معظم النباتات شعيرات أو زوائد سطحية ، لها أشكال ووظائف متعددة ، فبعضها يؤدى وظيفة الوقاية أو التدعيم ، والبعض شعيرات غدية أو قشور أو مجرد نتوءات ، ومنها أيضاً الشعيرات الجذرية الماصة . وتتميز شعيرات البشرة عن الأشواك — كأشواك الورد مثلا — بخروجها من طبقة

(شكل ٩٨)



أنواع الشعيرات والزوائد السطحية : (ا) شعيرة منفردة وحيدة الخلية فى نبات الصبغ (Cynogtossum) ، (ب) شعيرات وحيدة الخلية متجمعة فى نبات البلوط (Quercus) ، (ج) شعيرة وحيدة الخلية متفرعة فى نبات المنثور (Maithiola) ، (د) منظر سطحى لشعيرة الزيتون القرصية ، (هـ) منظر جانبى لنفس الشعيرة ، (و) شعيرة عديدة الخلايا لنبات القرع ،

البشرة وحدها ، بينما تخرج الأشواك من البشرة والطبقة التى تحتها . ومن الممكن أن تتكون الشعيرات على جميع أنواع الأعضاء النباتية ، أوراقاً وسيقاناً وجذوراً وأزهاراً وثماراً ، وهى إما أن تبقى على النبات طول حياته ، أو تستمر لفترة محدودة ثم تسقط ، وفى الحالة الأولى إما أن تستمر حيه بحيث يمكن تمييز أجزائها البروتوبلازمية المختلفة - كالسيتوبلازم والنواة - كما فى شعيرات القرع والشعيرات الغدية ، أو تفقد مادتها البروتوبلازمية بعد مدة ، فتموت وتجف وتمتلئ فجواتها بالهواء ، وتبدو بيضاء لامعة . ويبدأ تكوين الشعيرات والزوائد فى طور مبكر أثناء نمو العضو الذى يحملها .

وتختلف أشكال الشعيرات كثيراً فى النباتات المختلفة (شكل ٩٨) ، فتكون وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا ، كما أن الأولى إما أن تكون نتوءات قصيرة ، أو زوائد مدببة ، أو امتدادات أنبوبية طويلة لخلايا البشرة كما فى حالة الشعيرات الجذرية الماصة . وقد تكون الشعيرات بسيطة كشعيرات القرع أو متفرعة كشعيرات المنثور (Matthiola) . وفى نبات القطن توجد على سطح الساق شعيرات نجمية الشكل .

وتكون شعيرات البشرة أحياناً متباعدة غير مزدحمة ، كما فى القطن والذرة وعباد الشمس ، أو تكون كثيفة تغطى سطح النبات بغزارة وتتخذ شكلا وبرياً كما فى كثير من نباتات الصحارى ، حيث تساعد على تقليل النتح ، نظراً لاحتجازها هواء رطباً فى ثناياها ، وعزلها سطح النبات الناتح عن الهواء الجوى الجاف المتحرك .

وتتغطى سطوح البتلات فى أزهار بعض النبـــاتات ، كالبانسية (Viola tricolor) بزوائد قصيرة (Papillae) ، تجعلها مخملية الملمس غير قابلة للابتلال .

مجموع الأنسجة الوعائية أو التوصيلية

يحتاج النبات فى تغذيته إلى نقل مواد الغذاء فى بعض صورها من عضو إلى آخر ، وتزداد هذه الحاجة ازدياداً مضطرداً كلما كبر النبات وأنتج خلايا وأنسجة جديدة . وكلما ارتفع مجموعه الخضرى فوق سطح الأرض ، وتختص بأداء هذه الوظيفة أنسجة تعرف بالأنسجة الوعائية أو الموصلة (Vascular or conducting tissues) ، تحتوى على قنوات ذات تركيب خاص ، مستطيلة فى اتجاه التوصيل ، وتتصل هذه الأنسجة بعضها ببعض فى سائر أجزاء النبات مكونة جهازاً موحداً ، يمتد ويتشعب فى كل اتجاه . ويتكون جهاز التوصيل من خشب ولحاء ، يختص أولهما بتوصيل الماء ومحلول التربة من الجذور إلى الساق فالأوراق ، بينما يقوم الثانى بتوصيل المواد الغذائية المجهزة بالأوراق فى الاتجاه المضاد .

(اللحـــاء)

يتكون اللحاء من الأنابيب الغربالية (Sieve tubes) والخلايا المرافقة (Companion cells) ، ومن بارنشيمة لحاء (Phloem parenchyma) وألياف لحاء (Bast or Phloem fibres) ، ومن خلايا حجرية (Sclereids) أيضاً فى بعض الأحيان ، وفيما عدا الألياف والخلايا الحجرية لا تتغلظ الجدر فى عناصر اللحاء إلى درجة تغلظها فى عناصر الخشب .

الأنابيب الغربالية : تتركب كل أنبوبة من صف رأسى من خلايا مستطيلة رقيقة الجدر ، وتخترق الجدر المستعرضة — التى تفصل هذه الخلايا — ثقوب تؤدى وظيفة توصيل المواد البروتينية والسكربوإيدراتية . ولوجود هذه الثقوب تتخذ الجدر المستعرضة هيئة الغرابيل (شكلا ٩٩ و ١٠٠) وتعرف بالصفائح أو الحواجز الغربالية (Sieve plates) ، ويمكن رؤية هذه الصفائح بوضوح فى سيقان اللوف والقرع (شكل ١٠٠) ، وفى كثير من النباتات تكون مائلة الوضع قليلا بدل أن تكون مستعرضة .

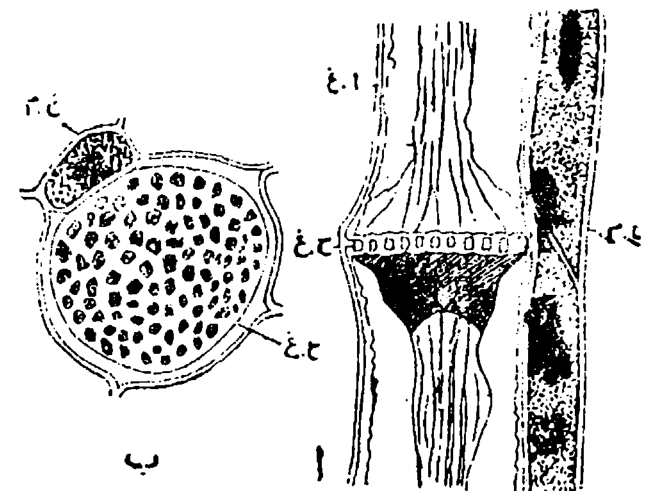
وخلية الأنبوبة الغربالية خلية عادية فى أول أدوار تكوينها ، بها نواة واحدة . وتبطن جدارها طبقة من السيتوبلازم . وبفجوتها عصير خلوى مائى — قوى التركيز نسبياً — قلوى التفاعل ، غنى بالمواد الزلالية القابلة للتجمد وبالأملاح غير العضوية ، وخاصة الفوسفات . ثم تختفى النواة أثناء نمو الخلية. ويصبح السيتوبلازم رقيقاً نفاذاً . ويظهر فى وسط الفجوة خيط هلامى غليظ ، يزداد سمكاً عند الحواجز الغربالية (شكل ١٠٠) حيث يكون ما يسمى بالسدادات الهلامية . ومن المحتمل أن الخيط والسدادات الهلامية لا وجود لها فى اللحاء الحى ، وإنما تظهر فقط فى الأنسجة المحفوظة المصبوغة ، نتيجة للمعاملات المختلفة التى تجرى عليها أثناء تحضيرها للفحص المجهرى .

(شكل ٩٩)

جزء من أنبوبة غربالية (ا) وخلاياها المرافقة (م) ولشاهده الصفائح الغربالية بين خلايا الأنبوبة الغربالية

وجدر الأنابيب الغربالية رقيقة دائماً غير ملجننة . تتركب أساساً من السليلوز . وهى متوترة باستمرار بسبب ضغط المحتويات الداخلية عليها أزموزيا .

(شكل ١٠٠)



الأنابيب الغربالية فى ساق القرع . (ا) جزء من إحدى الأنابيب الغربالية فى قطاع طولى، ويرى أحد الحواجز الغربالية (ح. غ) بالأنبوبة (ا.غ)، كما ترى خليتان مرافقتان (خ.م) (ب) حاجز غربالى فى منظر سطحى بقطاع مستعرض وبجواره خلية مرافقة (عن سمول) .

وتظل هذه الأنابيب قائمة بوظائفها لمدة فصل واحد من فصول النشاط الخضرى ، تتوقف بعده عن العمل . وقبل أن يقف نشاطها تتغطى صفائحها الغربالية بصفائح لامعة من مادة كربوإيدراتية عديدة التسكر تعرف بالكالوز (Callose) ، أما الصفائح نفسها فتسمى كالس (Callus) . وتبدأ هـذه الصفائح رقيقة فى أول الأمر ، ثم تزداد فى السمك بالتدريج ، ويعوق الكالوس انتقال المواد بين خلايا الأنبوبة الواحدة ، ولذلك يؤدى تكونه إلى وقف عمل الأنابيب ، ويحدث أحياناً أن تستأنف الأنبوبة عملها فى فصل النمو التالى ، ولكن ذلك لا يتم إلا بعد أن يذوب الكالوس ويختفى ، ثم يتكون ثانية بصفة مستديمة فى الشتاء التالى ، ويكون ذلك إيذاناً بانتهاء عمل الأنبوبة .

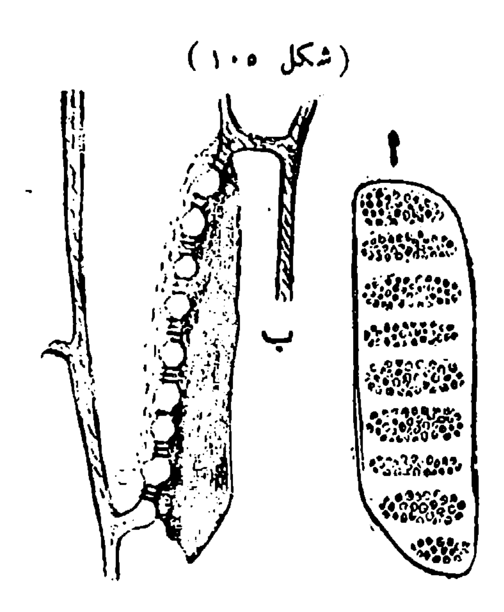
وتمثل ثقوب الصفائح الغربالية فتحات تمر منها المادة البروتوبلازمية للخلايا المتعاقبة . والبروتوبلازم الواصل بين الخلايا شديد الإنفاذ لدرجة أنه يسمح بمرور العصير خلاله بحرية تامة من خلية إلى خلية . وبعد أن يتكون الكالوس فى الأنابيب الغربالية المسنة ، تخترقه الخيوط البروتوبلازمية ، ويستمر اختراقها له فترة من الزمن ثم تنقطع .

والصفائح الغربالية إما بسيطة تشتمل على مساحة مثقبة واحدة — وهى الغالبة بين النباتات الراقية — وإما مركبة تشتمل على أكثر من مساحة مثقبة . ومن أمثلة النوع الأول الصفائح الغربالية فى سيقان اللوف والقرع (شكل ١٠٠) ، ومن النوع الثانى الصفائح الغربالية فى ساق العنب (شكل ١٠١) .

الخلايا المرافقة : ترافق خلية الأنبوبة الغربالية عادة خلية حية — تعرف بالخلية المرافقة (Companion cell) — وتتكون بانقسام خلية والدة انقساماً طولياً إلى قسمين غير متكافئين ، أكبرهما يكون خلية الأنبوبة الغربالية ، وأصغرهما هو الخلية المرافقة (شكلا ٩٩ و ١٠٠) . وقد تنقسم الخلية الوالدة أحياناً إلى أكثر من قسمين ، ويكون أكبرهما خلية الأنبوبة الغربالية ، بينما تكون بقية الأقسام عدداً من الخلايا المرافقة ، وفى هـذه الحالة يكون لخلية الأنبوبة الغربالية أكثر من خلية مرافقة واحدة . وعدد الخـلايا المرافقة

غير ثابت ، بل يختلف فى الأنواع المختلفة من النباتات ، وقد يختلف فى النوع الواحد أو حتى فى النبات الواحد . كذلك تختلف الخلايا المرافقة فى الحجم ، فبعضها تصل إلى طول خلية الأنبوبة الغربالية التى ترافقها ، وبعضها تظل أقصر منها . وعندما تتعدد الخلايا المرافقة فإنها إما أن تقع على جوانب مختلفة من الأنبوبة الغربالية ، أو تكون صفاً رأسياً واحداً على أحد الجوانب (شكل ٩٩) . وتوجد عدة نقر بسيطة على الجدار الذى يفصل الخلية المرافقة عن خلية الأنبوبة الغربالية ، ومن المحتمل أن الروابط البلازمية تمر خلال هذه النقر لتربط المادة الحية فى الخليتين .

(شكل ١٠٥)



الحواجز الغربالية المركبة : (ا) منظر سطحى لحاجز غربالى مركب فى نبات العنب ويرى به عدد من المساحات الغربالية ، (ب) جدار طرفى مائل بين خليتين متجاورتين من خلايا إحدى الأنابيب الغربالية لنبات العنب وقد تحول إلى حاجز غربالى مركب ، وتظهر عليه المساحات الغربالية فى منخفضات (عن ستراسبرجر) .

بارنشيمة اللحاء : يحتوى اللحاء على مقادير متفاوتة من الخلايا البارنشيمية ، تؤدى مثل وظائف الخلايا البارنشيمية فى الأنسجة الأخرى — كاختزان النشا والدهون وغيرها من المواد الغذائية والعضوية — كما تتجمع فيها أيضاً الدباغيات والمواد الراتنجية . وبارنشيمة اللحاء خلايا مستطيلة تمتد فى اتجاه التوصيل .

وجدر الخلايا البارنشيمية فى اللحاء الناشط تكون فى العادة سليلوزية رقيقة ، ولكنها بعد أن ينتهى عمل اللحاء ، إما أن تظل رقيقة لا يطرأ عليها أى تغيير ، وإما أن تتلجنن كما يحدث فى اللحاء الثانوى القديم . وتوجد نقر

بسيطة على الجدر التى بين الخلايا البارنشيمية والخلايا المرافقة ، وكذلك على الجدر التى بينها وبين الأنابيب الغربالية .

ألياف اللحاء : توجد الألياف فى اللحاء الابتدائى بالأعضاء المسنة ، وكذلك فى اللحاء الثانوى . وهى فى الأعضاء الصغيرة قابلة للنمو فى الطول . وعندما تنتهى استطالتها تكون جدراً ثانوية ، بها نقر بسيطة أو مضغوفة قليلا .

(الخشب)

يتكون الخشب من العناصر الآتية :

١ — الأوعية أو القصبات (Vessels) .

٢ — القصيبات (Tracheids) .

٣ — بارنشيمة الخشب (Xylem parenchyma) .

٤ — ألياف الخشب (Wood fibres) .

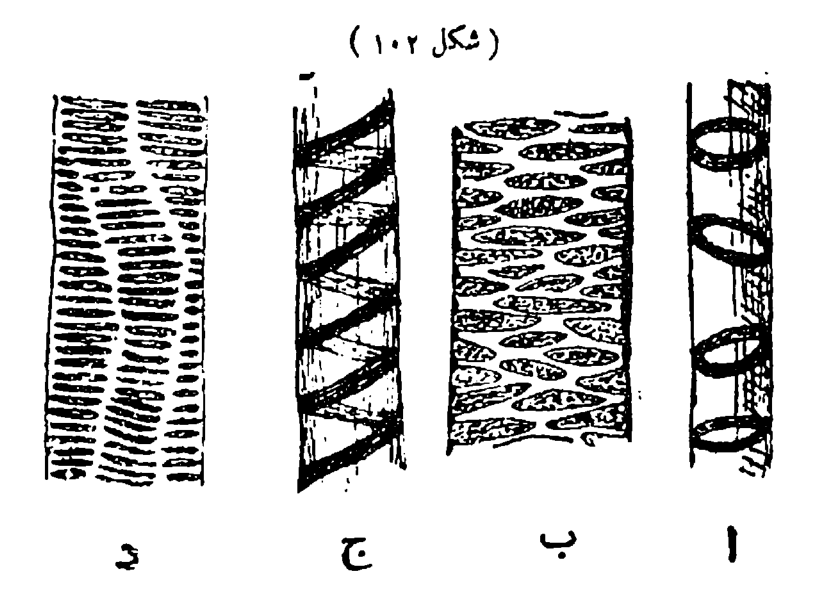
الأوعية : تمثل الأوعية قنوات التوصيل الأساسية فى النباتات كاسيات البذور . وتكاد تكون مقصورة على هذا القسم من النباتات دون غيره . وهى عناصر ميتة ، جدرها سميكة ملجننة ، مستديرة أو مضلعة فى القطاع المستعرض وممتدة فى اتجاه التوصيل ، ووظيفتها توصيل الماء واختزانه أحياناً ، وتحتوى الأوعية العاملة دائماً على قدر من الماء . كما تحتوى أيضاً على قدر من الهواء .

وينشأ الوعاء من صف رأسى من الخلايا الإنشائية ، تتغلظ جدرها تغلظا ثانوياً بعد أن تتم استطالتها ، وذلك بترسيب طبقات جديدة من مادة اللجنين ، وتذوب الجدر المستعرضة الفاصلة بين الخلايا ، فيؤدى ذلك إلى تكوين قناة متصلة ، تتباين طولا واتساعاً . وقد تتخلف من الجدر المستعرضة بعد انقراضها حافة حلقية تبرز قليلا داخل تجويف الوعاء . أما إذا كانت الجدر مائلة فإنها لا تذوب بأكملها لتكون ثقباً واحداً متسعاً ، بل تكون عدداً من الثقوب العدسية الشكل ، مرتبة الواحد فوق الآخر فى نظام سلمى . وفى حالات قليلة لا توجد ثقوب على الإطلاق فى الجدر الفاصلة بين خلايا الأوعية ،

وإنما توجد نقر فقط عوضاً عنها . وفى هذه الحالات يكون طول الأوعية محدوداً . ويختلف طول الأوعية من نبات لآخر ، فى بعض النباتات الخشبية المتسلقة تصل إلى بضعة أمتار . وفى شجر البلوط (Quercus) تصل إلى مترين ، ولكنها فى غالبية النباتات لا تزيد على متر واحد ، أما متوسط طولها فيبلغ العشرة سنتيمترات . على أن أوسع الأوعية وأطولها هى أوعية النباتات المتسلقة .

ويحدث التغلظ الثانوى لجدر الأوعية على صور شتى ، ففى أجزاء الخشب الابتدائى — التى تتكون مبكرة — لا يتغطى بمادة التغلظ الثانوية عادة إلا جزء صغير من مساحة الجدار الأولى للوعاء ، وتزداد نسبة المساحة المتغلظة ثانوياً بالتدريج فى أجزاء الخشب الابتدائى التى تتكون بعد ذلك ، وفى الخشب الثانوى أيضا . ففى أقدم أجزاء الخشب الابتدائى — وهو المعروف بالخشب الأول (Protoxylem) — يحدث التغلظ الثانوى فى شكل حلقات منفصلة ، وتكون الأوعية ضيقة ، وتسمى أوعية حلقية (Annular vessels) كما فى شكل (١٠٢ : أ) ، وفى الأجزاء الأحدث يتخذ التغلظ شكلا حلزونيا ، وتسمى الأوعيــة حلزونية أو لولبية (Spiral) شــكل (١٠٢ : ج) وشكل (١٠٣ : و ، ج) وفيها يزداد تضاغط اللولب وتتقارب حلقاته كلما تأخر تكوينها ، وبين هذين النوعين يوجد نوع ثالث يمكن مشاهدته فى كثير من النباتات ، ويكون فيه التغلظ حلقيا وحلزونيا فى آن واحد ، إذ يحدث التغلظ الحلقى فى بعض أجزاء الجدار والحلزونى فى أجزاء أخرى ، كما يزداد أيضا حجم الوعاء . أما فى الخشب التالى (Metaxylem) — وهو أحدث من الخشب الأول — فالأوعية أوسع وأكثر تغلظا ، ومعظمها من النوع الشبكى أو المنقر . وقد تكون شبكية ومنقرة فى آن واحد . وفى الأوعية الشبــكية (Reticulate vessels) يتخــذ التغلظ شكل شبكة (شكل ١٠٢ : و . ش) ، وقد تستطيل فجواتها الشبكية أحيانا فى اتجاه أفقى فيقال الأوعية فى هــذه الحالة إنها سلمية شبكية (Scalariform reticulate) . أما الأوعية المنقــرة (Pitted vessels) فهى أوسع أنواع الأوعية وأغلظها جــدراً ،

(شكل ١٠٢)

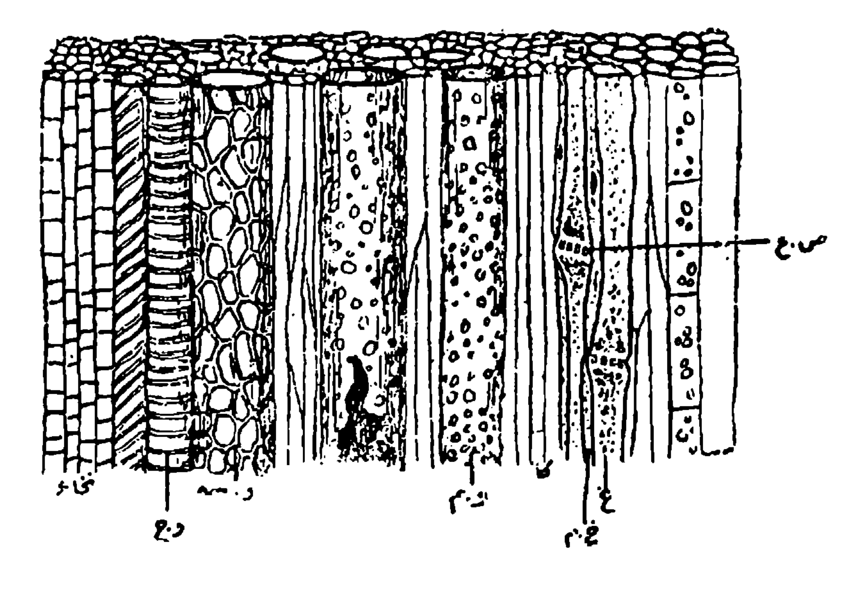


الأنواع المختلفة من الأوعية : (ا) وعاء حلقى ، (ب) وعاء شبكى منقر ، (ج) وعاء حلزونى ، (د) وعاء سلمى منقر .

وتوجد فى الأجزاء البالغة من النبات التى توقفت عن النمو ، وتتميز بتلجنن جدرها تماما ، إلا فى بعض مواضع على شكل نقر متناثرة وقد تكون هذه النقر بسيطة أو مضفوفة . وأحيانا تستطيل فى اتجاه مستعرض ، وتترتب فى صفوف منتظمة ، وبذلك يتخذ التغلظ شكلا سلميا (شكل ١٠٢ : د) ، ويقال للوعاء فى هذه الحالة إنه سلمى منقر (Scalari-form pitted) ، أما الأوعية المنقرة الشبكية (Pitted reticulate) — (شكل ١٠٢ : ب) — ففيها تمثل الخيوط الشبكية أغلظ أجزاء الجدار ، أما الفجوات التى بين الخيوط فمتوسطة التغلظ وفيها تتناثر النقر ، وهى أرق أجزاء الجدار .

ويلاحظ فى أوعية الخشب التى تتكون فى الأجزاء النامية من النبات أنها قليلة التغلظ ، وبذلك لا تعوق النمو فى الطول والحجم . فعندما يستطيل العضو النامى يتفتح اللولب اللجنينى فى الأوعية الحلزونية كما يتفتح الزنبرك ، نتيجة لتمدد الأجزاء الرقيقة من الجدار ، كذلك تتباعد الحلقات فى الأوعية الحلقية لنفس السبب ، ومع ذلك فإن سرعة النمو فى الطول إذا زادت عن حد معين — كما فى سيقان بعض النباتات ذوات الفلقة الواحدة — فإن الأوعية لا تتمزق ، ويتخلف عن تمزقها فجوة واسعة ، تظهر فى الخشب الأول بالنبات البالغ .

(شكل ١٠٣)



جزء من قطاع طولى فى حزمة وعائية حديثة مبين به عناصر اللحاء فى الجزء الخارجى (إلى اليمين) وعناصر الخشب فى الجزء الداخلى (إلى اليسار) وبينهما الكامبيوم ، (خ م) خلية مرافقة ، (ص. غ) صفيحة غربالية ، (غ) أنبوبة غربالية ، (كا) كامبيوم ، (و ح) وعاء حلزونى ، (و . ش) وعاء شبكى ، (و م) وعاء منقر

القصيبات : تمثل القصيبات (Tracheids) نوعاً آخر من عناصر التوصيل الخشبية . وهى كالأوعية عناصر ميتة مستطيلة عند اكتمال نموها ، تتكون كل منها من خلية واحدة ، لها جدر ثانوية ملجننة ، وليس لها بروتوبلاست ، ولكنها تختلف عن الأوعية فى خلو جدرها الطرفية من الثقوب الموصلة بين الخلايا ، إذ تحل محل الأخيرة نقر موزعة على الجدر المشتركة بين القصيبات المتجاورة ، تنفذ فيها السوائل الصاعدة فى الجهاز التوصيلى . أما فى الأوعية فإن هذه السوائل تمر خلال الثقوب التى بين خلايا الوعاء الواحد . والقصيبات كثيرة الشبه بالألياف من حيث شكلها البروزنشيمى ، ولو أن تدبب أطرافها أقل منه فى الألياف ، كما أن فجواتها أوسع وجدرها أقل تغلظاً ، وهى أيضاً أقصر وأعرض من الألياف ، بيد أنه فى بعض الأحيان تتضاءل الفروق ويزداد الشبه بين القصيبات والألياف حتى يتعذر التمييز بينها ، وتعرف القصيبات فى هذه الحالة بالقصيبات الليفية (Fibrous tracheids) وتكون .

القصيبات الجانب الأكبر من الخشب فى كثير من النباتات ، وهى تمثل فى معظم الصنوبريات والتريديات النوع الوحيد من عناصر التوصيل الخشبية.

ويحدث التغلظ فى جدر القصيبات على أشكال متعددة . فالقصيبات المتكونة فى الأجزاء النامية تكون حلقية التلجنن أو حلزونية ، وبذلك تسمح باستطالة العضو كما فى الأوعية ، أما التى تنشأ بعد ذلك فتكون شبكية ، بينما توجد القصيبات المنقرة فى الأعضاء البالغة ، وفى النوع الأخير يكون الجدار كله ملجننا فيما عدا النقر . وقد تكون النقر بسيطة كنقر الخلايا البارنشيمية ، أو مضفوفة — وهو الغالب — كما فى خشب الصنوبر (شكل ٨٥) ، وفى الأخيرة يسقف غشاء النقرة — وهو يمثل الجدار الأولى — من جميع نواحيه بقبوة من الجدار الثانوى الملجنن . وتوجد بوسط القبوة عند القمة فتحة ضيقة هى ثقب النقرة تؤدى إلى تجويف يفصل القبوة عن الغشاء . والأغشية الأولية للنقر رقيقة ، ولكن تترسب عليها فى أكثر الأحيان أقراص مغلظة يعرف كل منها بالتخت النقرى (شكل ٨٥) ويشغل الجزء الأوسط من الغشاء ، ويظل معلقاً من طرفيه بالجزء الرقيق من غشاء النقرة — كما ذكرنا فى الباب السابق — ويستطيع التخت النقرى بفضل طرفيه الرقيقين أن يتحرك بسهولة من أحد جانبى التجويف إلى الجانب الآخر ، وبذلك يسد الثقب فى الجانب الذى ينتقل إليه ، ويمنع اتصال القصيبة فى ذلك الموضع بالقصيبة المجاورة لها ؛ أى أنه يكون بمثابة صمام الأمن يمنع انتقال الضغط العالى من بعض أجزاء الجهاز التوصيلى إلى سائر الأجزاء . ونعتبر النقر المضفوفة من خصائص الخلايا الميتة التى لا تحتوى من مادة البروتوبلازم ما يقوى أغشيتها ، ويمنعها من التذبذب ذات اليمين وذات الشمال . وهناك قلة من القصيبات نقرها ضيقة كشقوق مستعرضة ، وتعرف بالقصيبات السلمية (Scalariform tracheids) ، وهى مميزة للنباتات التريدية ، وإن كانت توجد أيضاً فى غيرها من الأقسام .

ألياف الخشب : سبق الحديث عن الألياف عند وصف الأنسجة الدعامية

فذكرنا أنها عناصر ميتة ملجننة ، وحيدة الخلية ، مدببة الأطراف ، ذات وظيفة تدعيمية . وتكثر الألياف عادة فى الخشب الذى تمثل فيه الأوعية عناصر التوصيل الرئيسية ، أما الخشب الذى تغلب فيه القصيبات فتندر به الألياف ، وذلك لأن الأولى تؤدى إلى حد ما وظيفة الثانية .

بارنشيمة الخشب : توجد بكل من الخشبين الابتدائى والثانوى خلايا بارنشيمية حية قد تكون مستطيلة أو قصيرة ، والنوع القصير هو الأعم ، وتكثر النقر البسيطة على جدر هذه الخلايا ، وتتكون لها جدر ثانوية أحياناً ، وفى هذه الحالة توجد نقر مضفوفة أو نصف مضفوفة على الجدر الفاصلة بين الخلايا المتجاورة . وبارنشيمة الخشب خلايا حية فى الغالب ، ولكنها قد تفقد محتوياتها الحية فى الأجزاء المسنة فتتحول إلى عناصر ميتة . وتحتوى الخلايا الحية على طائفة من المواد ، فهى مختصة باختزان مواد الغذاء المدخر – كالنشا والمواد الدهنية – ويتراكم فيها النشا عادة قرب نهاية فصل النمو ، ثم يستهلك كله أو بعضه فى فصل النمو التالى . وقد تحتوى بارنشيمة الخشب أيضاً على مواد أخرى كالدباغيات والبلورات وغيرها .

ويختلف توزيع الخلايا البارنشيمية داخل الخشب فى النباتات المختلفة ، فأحياناً تكون متناثرة بين العناصر الخشبية الأخرى ، وأحياناً تتجمع حول الأوعية ، وفى حالات أخرى ترافق عناصر الخشب التى تظهر فى آخر فصل النمو . وتساعد طريقة توزيع العناصر البارنشيمية على تمييز أنواع النباتات الخشبية .

الباب التاسع

التركيب الداخلى للسيقان الحديثة

ذكرنا فى باب سابق أن الخلايا الجديدة التى يكونها النبات أثناء نموه تنشأ من مناطق نمو خاصة ، توجد فى النباتات الزهرية بقمم السيقان والجذور وفروعها . ويمكن دراسة القمة النامية لساق نبات زهرى بقطعه قطعا رأسيا منصفا (شكل ٨٨) وفحص القطاع بالمجهر . إذ ذاك يرى السطح الخارجى لمنطقة النمو مفلطحاً أو محدبا ، وأحيانا مخروطيا ، وتخرج أصول البراعم الإبطية والأوراق من مواضع جانبية تحت القمة ، وتبدو كنتوءات من سطح الساق متزاحمة خارجية الأصل ، وتتعاقب الأوراق على الساق تعاقباً قميا ، فتزداد فى الحجم تدريجيا كلما بعدت عن القمة .

وفى أقصى القمة النامية يوجد النسيج الإنشائى الأولى (Promeristem) غير المتميز ، وخلفه تبدأ الخلايا فى التشكل إلى عدد من الأنسجة الإنشائية الابتدائية ، هى منشئات البشرة والقشرة والأسطوانة الوعائية .

طرق التوزيع العام للأنسجة :

تنقسم الأنسجة الابتدائية التى تتكون منها الساق الحديثة إلى مجاميع الأنسجة الضامة والأساسية والوعائية . وتقوم الاختلافات فى تركيب السيقان المختلفة على أساس الاختلافات فى نسبة هذه المجاميع الثلاثة من الأنسجة وفى ترتيب مواضعها ، ففى معظم النباتات الوعائية تنتشر مجموعة الأنسجة الأساسية بين الأنسجة الوعائية وتتخللها ، وبذلك تتخذ الأخيرة شكل أسطوانة جوفاء مغلقة تقع داخل مجموع النسيج الأساسى ، أو شكل حزم منفصلة ومرتبة فى حلقة واحدة ، أو شكل حزم متفرقة ومتناثرة فى سائر أرجاء مجموع النسيج الأساسى . ويظهر هذا الترتيب واضحا فى القطاعات المستعرضة بالسلاميات .

وفى الحالات التى يكون فيها النسيج الوعائى أسطوانة مصمتة ، يسمى النسيج الأساسى الواقع خارج تلك الأسطوانة – والذى يفصلها عن البشرة – بالقشرة (Cortex) ، أما إذا كان على شكل أسطوانة جوفاء فإنها تحتوى بداخلها جزءاً من النسيج الأساسى يعرف بالنخاع (Medulla or Pith) ، وإذا كانت الأسطوانة الوعائية منقسمة إلى حزم منفصلة فإن المسافات التى بين الحزم تمتلىء بأجزاء من النسيج الأساسى تعرف بالأشعة النخاعية (Medullary rays) أما فى السيقان التى تتبعثر فيها الحزم داخل النسيج الأساسى فقلما يتميز الأخير إلى قشرة ونخاع وأشعة نخاعية .

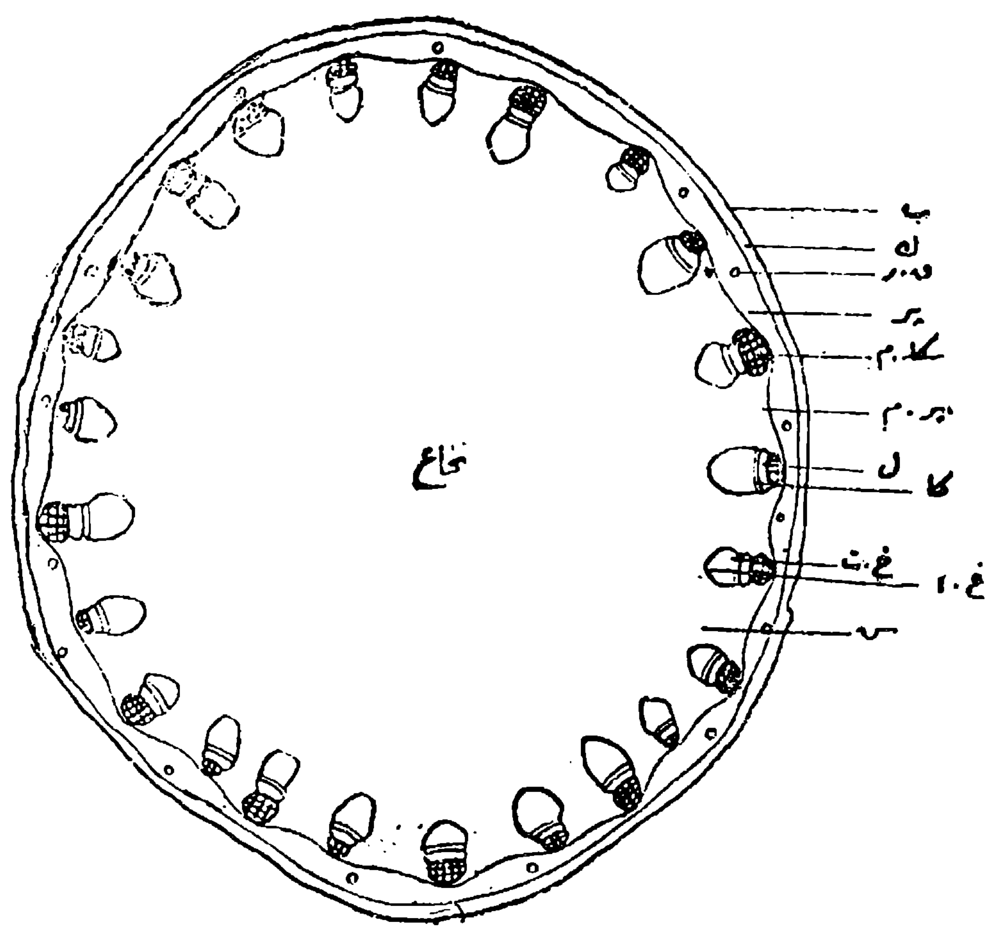
(ساق ذوات الفلقتين)

ساق عباد الشمس :

يمكن دراسة التركيب الداخلى لساق حديثة فى قطاع مستعرض بإحدى السلاميات القريبة من القمة النامية لساق عباد الشمس (Helianthus) ، وإذا فحص ذلك القطاع بالقوة الصغيرة للمجهر ، فإن أول ما يسترعى النظر أن النسيج الوعائى مرتب فى حلقة واحدة من الحزم المنفصلة (شكل ١٠٤) ، وأن الخشب يقع فى الجانب الداخلى للحزم ، بينما يقع اللحاء فى الجانب الخارجى منها ، كما يلاحظ أيضاً أن الخشب واللحاء فى كل حزمة يقعان على نصف قطر واحد ، ويسمى هذا النوع من الحزم « بالحزم الجانبية » (Collateral bundles) .

ويؤدى انتظام الحزم الوعائية فى حلقة مفرغة إلى انقسام النسيج الأساسى إلى ثلاث مناطق : (١) القشرة خارج الأسطوانة الوعائية و (٢) النخاع فى الجزء المركزى و (٣) الأشعة النخاعية بين الحزم وتصل ما بين القشرة والنخاع . وتقسيم النسيج الأساسى إلى هذه الأقسام الثلاثة إنما هو توزيع لمواضع أجزائه المختلفة فحسب ، ولا ينطوى على أى اختلاف فى أشكال الخلايا ، إذ أنها فى الأجزاء الثلاثة على السواء خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر .

(شكل ١٠٤)

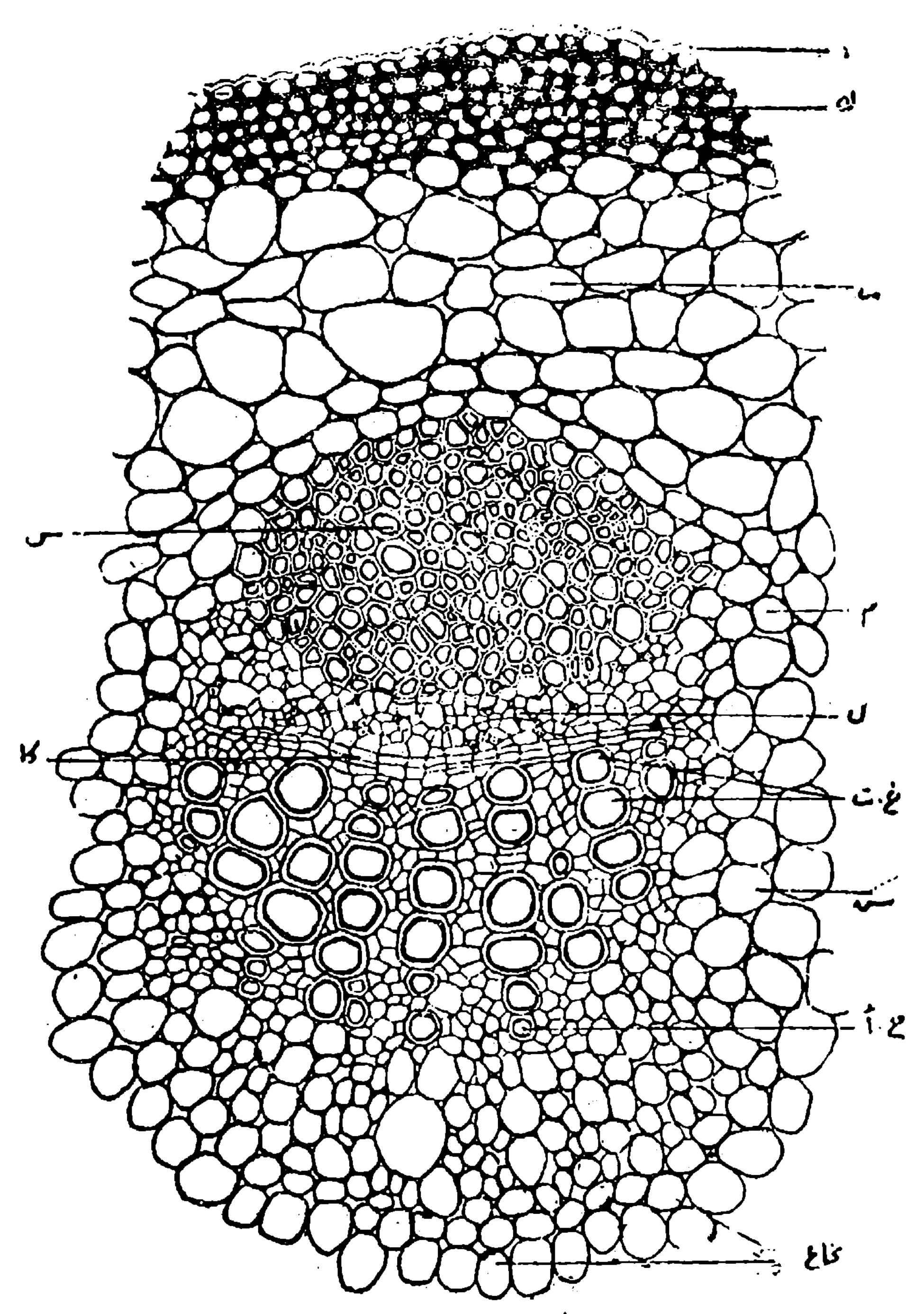


رسم تخطيطي لقطاع مستعرض في ساق عباد الشمس يبين : (ب) بشرة ، (ك) نسيج كولنشيمي ، (ق . ر) قناة راتنجية ، (بر) نسيج بارنشيمي (سكا . و م) ألياف الطبقة المحيطية ، (بر . م) بارنشيمة الطبقة المحيطية ، (ل) لحاء ، (كا) كامبيوم ، (خ . ث) خشب ثانى ، (خ . ا) خشب أول ، (ش) شعاع نخاعى ، ويرى النخاع فى الوسط .

وإذا فحصنا القطاع المستعرض فى ساق عباد الشمس بالقوة الكبيرة للمجهر أمكن تبين التركيب التفصيلى الآتى (شكل ١٠٤) .

البشرة : يحد القطاع المستعرض من الخارج بطبقة واحدة من الخلايا ، هى البشرة (Epidermis) . وهى تكون غلافا محكما يحيط بالساق ، لاتتخلله ثقوب أو فراغات ، فيما عدا الثقوب الثغرية ؛ ووظيفة هذا النسيج الضام حماية الأنسجة الداخلية الرقيقة ، وتظل البشرة مغطية للنبات فترة طويلة ، لاتنفصل عنه إلا بعد تكون الفلين ، وتمتد بعض خلايا البشرة إلى

(شكل ١٠٥)



رسم تفصيلي لحزمة من قطاع مستعرض في ساق حديثة لنبات عباد الشمس يبين : (ا) أدمة تغطي البشرة ، (ك) خلايا كولنشيمية ، (ب) خلايا بارنشيمية ، (س) حزمة من الألياف السكلرنشيمية ، (م) خلايا بارنشيمية تمثل أجزاء من المنطقة المحيطية متبادلة مع الحزم السكلرنشيمية ، (كا) كامبيوم ، (خ . ت) خشب ثانوي ، (ش) شعاع نخاعي أصلي ، (خ . أ) خشب أولي ، ويرى النخاع في الوسط .

الخارج ، مكونة نتوءات دقيقة مخروطية الشكل ، وهى الشعيرات السطحية وهى فى عباد الشمس شعيرات متعددة الخلايا ، وتغطى الأدمة السطح الخارجى للبشرة ، وتتكون من الكيوتين ، وهى مادة قليلة الإنفاذ للماء ، ولذلك يساعد وجودها على تقليل النتح من سطح النبات الغض .

القشرة : وهى تلى البشرة من الداخل ، وتغلف الأسطوانة الوعائية ، ويبلغ سمكها فى ساق عباد الشمس عدة طبقات من الخلايا ، أكثرها بارنشيمية وقليل منها كولنشيمية ، وتقع الأخيرة تحت البشرة مباشرة ، وهى تختلف من حيث كميتها وطريقة توزيعها فى سيقان النباتات المختلفة ، وجدرها المحيطية فى عباد الشمس أغلظ من الجدر القطرية .

وهناك تدرج واضح فى الانتقال من المنطقة الكولنشيمية بالجزء الخارجى من البشرة إلى المنطقة البارنشيمية فى الداخل ، يتمثل فى ازدياد حجم الخلايا الكولنشيمية بالتدريج ، وفى تناقص سمك جدرها وانتظامه ، وفى اضطراد الزيادة فى حجم المسافات البينية كلما اتجهنا إلى الداخل ، حتى يتحول النسيج الكولنشيمى كله إلى نسيج بارنشيمى . وتوجد بخلايا القشرة البارنشيمية – وخاصة الخارجية منها – بلاستيدات خضر ، كما تنتشر بينها قنوات راتنجية (Resin ducts) .

وتتميز الطبقة الأخيرة من القشرة – وهى الملاصقة للأسطوانة الوعائية – باحتواء خلاياها على حبيبات نشوية صغيرة ، تصطبغ باللون الأزرق إذا عولج القطاع بمحلول يود مخفف ، ولذلك تسمى هذه الطبقة بالغلاف النشوى (Starch sheath) ، وهى طبقة متموجة فى نبات عباد الشمس ، تكون أقواسا تحيط بالحزم الوعائية من الخارج ، والأغلفة النشوية كثيرة الانتشار فى سيقان النباتات العشبية من ذوات الفلقتين .

الأسطوانة الوعائية : تتكون الأسطوانة الوعائية (Vascular cylinder) من الحزم الوعائية وما يحيط بها من أنسجة أساسية ، وتسمى المنطقة الخارجية من تلك الأسطوانة بالمنطقة المحيطية أو البريسيكل (Pericycle) ، وهى فى

ساق عباد الشمس منطقة متعددة الطبقات ، تتركب من مجموعات من الألياف خارج الحزم الوعائية ، بينها خلايا بارنشيمية فوق الأشعة النخاعية . وفى نباتات أخرى - غير عباد الشمس - تتكون الطبقة المحيطية من خلايا بارنشيمية فقط ، فى طبقة واحدة أو أكثر . وقد تتكون من عدة طبقات

أما الحزم الوعائية فقد سميت بهذا الاسم لأنها تحتوى على الأوعية والعناصر الأخرى التى تنقل العصارة ، وتتركب كل حزمة من لحاء وخشب ، بينهما طبقة من خلايا إنشائية تعرف بالكامبيوم (Cambium) ، ويسمى هذا النوع من الحزم « حزما مفتوحة » (Open hundles) ، وذلك لأن وجود الكامبيوم يسمح بالتغلظ الثانوى وتكوين أنسجة وعائية ثانوية بين الخشب واللحاء الإبتدائيين .

فالحزم فى ساق عباد الشمس هى إذن حزم جانبية ومفتوحة فى آن واحد وتلك صفة مميزة لسيقان ذوات الفلقتين . والخشب واللحاء فى حزم الساق الحديثة يمكن اعتبارهما من الأنسجة المستديمة الابتدائية ، لأنهما يتكونان من الأنسجة الإنشائية الابتدائية الموجودة بالقمة النامية ، ولذلك يعرفان بالخشب واللحاء الابتدائيين .

ويتميز اللحاء الابتدائى بخلاياه ذات الجدر اللامعة وبعناصره ذات الأحجام المتباينة . فالأنابيب الغربالية تبدو كفجوات كبيرة فارغة ، تجاورها خلاياها المرافقة الصغيرة المملوءة بالمحتويات الحية الكثيفة . وتحتوى الأنابيب الغربالية فى بعض أجزائها على حواجز (أو صفائح) غربالية (Sieve plates) وقد يمر القطاع بواحد أو أكثر من هذه الحواجز فتبدو مستديرة ذات ثقوب كثقوب الغربال ، وتختلط بهذه العناصر خلايا بارنشيمية حية رقيقة الجدر .

والكامبيوم هو البقية الباقية من منشىء الأسطوانة الوعائية ، تخلفت بعد تحول بقية أجزائه إلى أنسجة مستديمة ، وهو يبدو واضحاً كطبقة واحدة أو عدة طبقات من خلايا مفلطحة رقيقة الجدر ، وخاصة عندما يبدأ نشاطه لتكوين خشب ولحاء ثانويين فى الأجزاء الأكبر سناً من محور الساق .

أما الخشب الابتدائى فيتكون من صفوف قطرية من الأوعية ، تفصلها صفوف قطرية من خلايا بارنشيمية صغيرة ، وأوسع الأوعية هى أقربها إلى الكامبيوم وأضيقها هى أقربها إلى المركز . ويعرف الجزء الداخلى من الخشب الابتدائى بالخشب الأول (Protoxylem) ، ولذلك توصف الحزم بأنهاداخلية الخشب الأول (Endarch) . أما الخارجى فيعرف بالخشب التالى (Metaxylem) ويحتوى الأوعية الواسعة ، وهى فى العادة أوعية منقرة أو شبكية . ويوجد به أيضاً قليل من الألياف والخلايا البارنشيمية الملجننة . أما أوعية الخشب الأول فهى فى الغالب أوعية حلقية أو حلزونية .

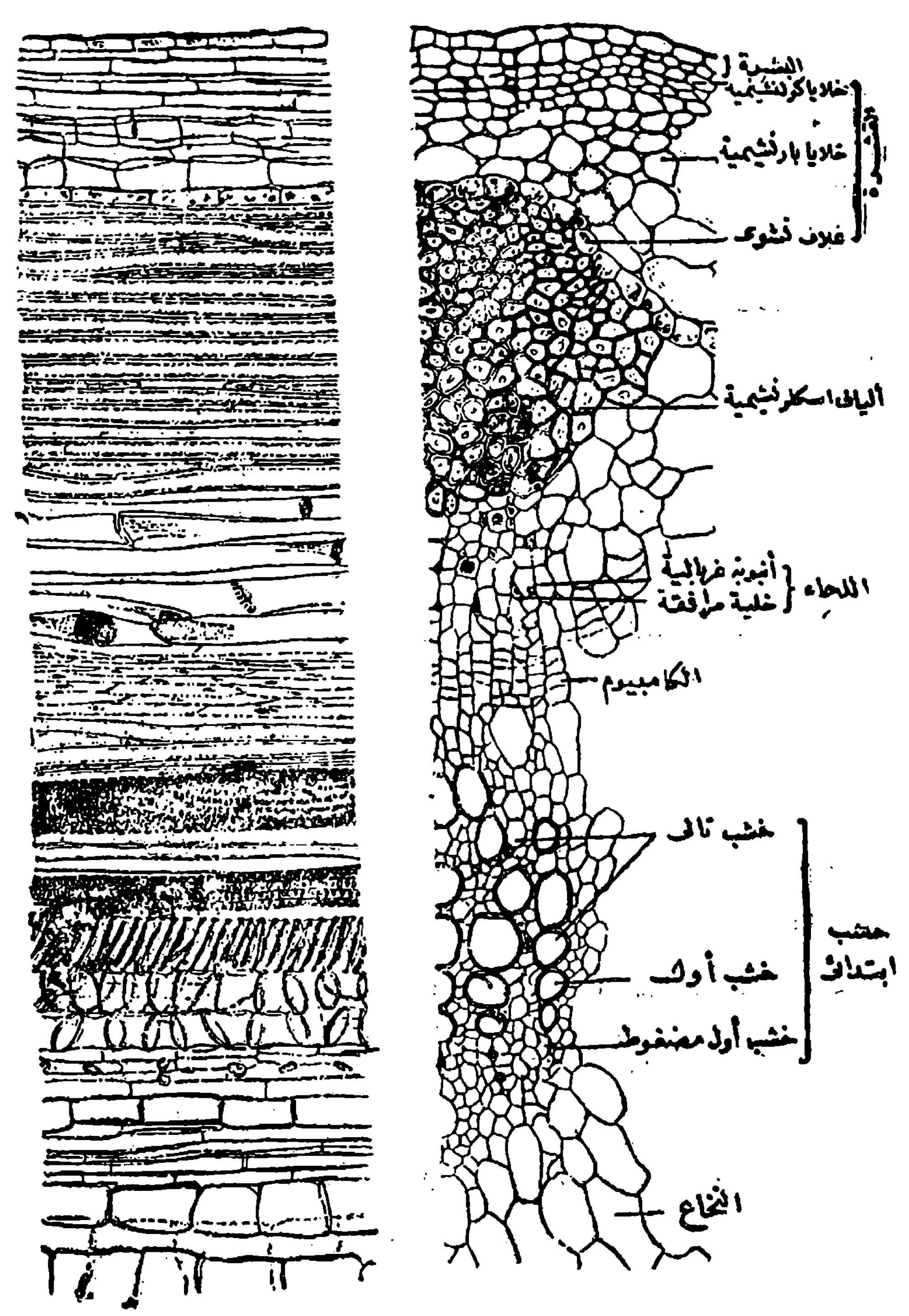
ويشمل النخاع الجزء المركزى من الساق ، وهو المنطقة الواسعة التى تلى الحزم الوعائية من الداخل ، ويمثل فى الساق منطقة واسعة إذا قيست بمنطقة القشرة الضيقة ، ويتكون النخاع من خلايا بارنشيمية كبيرة ، بينها مسافات ضيقة مثلثة الشكل ، وفى بعض السيقان العشبية — كسيقان الفول والبرسيم — يوجد تجويف فى وسط الساق ، يحل محل الجزء المركزى من النخاع ، ويتمثل الأخير فى تلك الحالة بطبقات قليلة من الخلايا البارنشيمية تلى الحزم الوعائية من الداخل ، وتكون الساق جوفاء لامصمتة .

أما الأشعة النخاعية فى السيقان الحديثة فتعرف بالأشعة النخاعية الأصلية (Original medullary rays) ، وهى تتكون من خـــلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، ممتدة بين الحزم فى اتجاه قطرى ، وتصل ما بين القشرة والنخاع .

(وصف قطاع طولى فى ساق عباد الشمس الحديثة)

لابد لاستكمال دراسة التركيب التشريحى للساق الحديثة من فحص قطاع طولى قطرى فى ساق عباد الشمس ، يمر بإحدى الحزم الوعائية (شكل ١٠٦) يلاحظ فى ذلك القطاع نفس التعاقب الموجود فى القطاع المستعرض ، ففى الخارج توجد البشرة بخلاياها القصيرة ، تتلوها طبقات الخلايا الكولنشيمية التى يبلغ طولها عادة أضعاف عرضها ، وتتغلظ جدرها الرأسية تغلظاً ملحوظاً أما الخلايا البارنشيمية التى تشغل الجزء الداخلى من القشرة فهى مستطيلةرقيقة

(شكل ١٠٦)



ساق عباد الشمس ، ونرى الى اليمين قطاع مستعرض ، والى اليسار قطاع طولى قطرى فى وضع يحقق المقابلة بين أنسجته المختلفة والأنسجة المماثلة فى القطاع المستعرض (عن بريستلى وسكوت) .

الجدر ، ولكنها أقصر وأوسع من الخلايا الكولنشيمية ، ويتميز الغلاف النشوى باحتوائه على حبيبات نشوية صغيرة ، أما ألياف المنطقة المحيطية فيسهل تميزها بضيق تجويفها وتغلظ جدرانها وتدبب أطرافها .

ويتميز اللحاء بأنابيبه الغربالية الطويلة الفارغة ، وخلاياه المرافقة الممتلئة الضيقة وبالحواجز الغربالية المائلة ، التى تقطع الأنابيب الغربالية على أبعاد منتظمة .

ويستدل على الكامبيوم بخلاياه الحية المستطيلة المنضغطة ، ذات الجدر الرقيقة والأنوية الكبيرة الواضحة .

وفى الخشب التالى يسهل ملاحظة التغلظ الشبكى فى بعض الأوعية والنقر فى بعضها الآخر . أما أوعية الخشب الأول فتبدو أضيق كثيراً من أوعية الخشب التالى ، كما يبدو تغلظ الداخلية منها حلقياً ، وتغلظ التالية لها حلزونياً ، وترى بين أوعية الخشب أحياناً خلايا ضيقة مستطيلة ، هى بارنشيمة الخشب .

ساق القرع :

لسيقان القرع واللوف وما شابهما أهمية تشريحية خاصة ، نظراً لكونها مضلعة المحيط وليست مستديرة كعباد الشمس ، مما يستلزم توزيعاً خاصاً للأنسجة الدعامية . ولكونها مجوفة وليست مصمتة ، تحل بها فجوة واسعة محل الجزء المركزى من النخاع ، والنخاع الأجوف ظاهرة واسعة الانتشار بين السيقان العشبية فى الفصيلتين النجيلية والقرعية وغيرهما ، ويعزى تكون التجويف المركزى فى هذه السيقان إلى توقف نمو خلايا النخاع وتمزقها بعد أن يجاوز حجمها حداً معيناً .

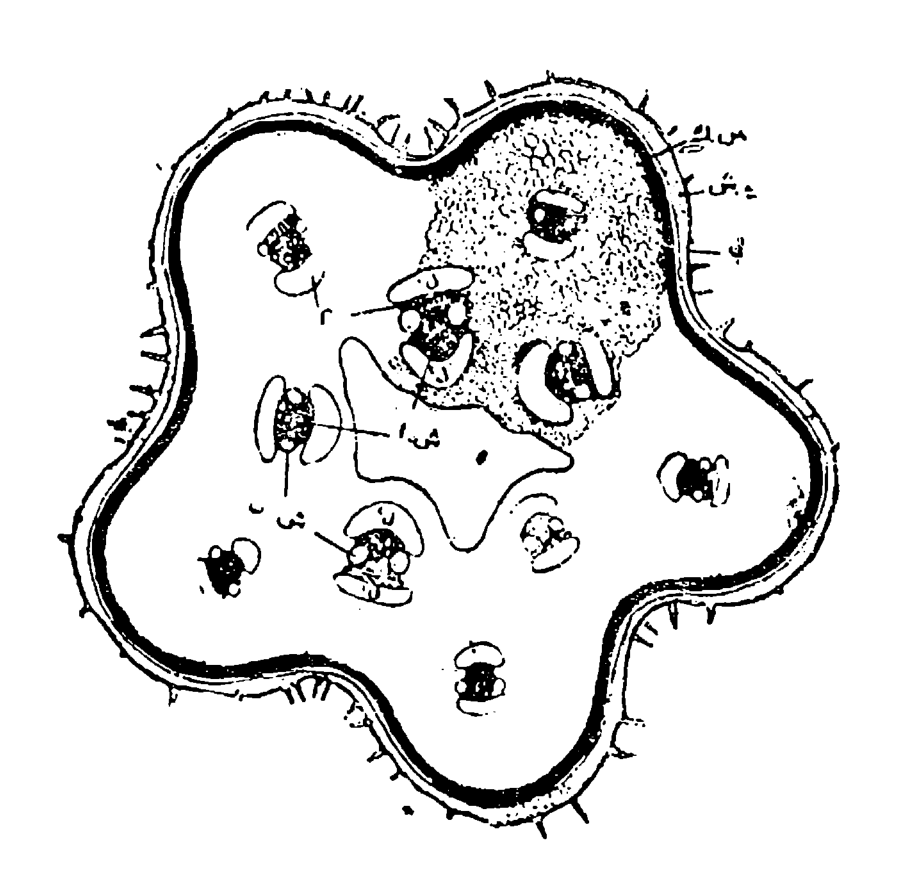
ويغطى سطح البشرة بكثافة فى ساق القرع بشعيرات عديدة الخلايا ، تمثل نتوءات من سطح البشرة ، كما توجد فى أركان الساق تحت البشرة قطع من نسيج دعامى كولنشيمى ، سميكة فى الوسط وترق تدريجياً على

الجانبين . وتتبادل مع هذه الأنسجة الكولنشيمية أنسجة أخرى كلورنشيمية تقع تحت البشرة فى المنخفضات التى بين الأركان البارزة ، وتمتلىء خلاياها بالبلاستيدات الخضر ، كما توجد الثغور فى أجزاء البشرة التى فوقها ، فيساعدها كل ذلك على القيام بدور فعال فى وظيفة البناء الضوئى . وتلى الطبقات الكلورنشيمية والكلنشيمية بالقشرة طبقات قليلة من الخلايا البارنشيمية . تحدها من الداخل طبقة الغلاف النشوى وتقع خارج الأسطوانة الوعائية حلقة من الألياف (س . ك . شكل ١٠٧) . سمكها عدة طبقات . تمثل مع الطبقات البارنشيمية التى تليها من الداخل المنطقة المحيطية .

وتختلف سيقان اللوف والقرع كثيراً عن ساق عباد الشمس فى تركيب الحزم الوعائية وتوزيعها داخل الساق . وهناك حلقتان من الحزم (شكل ١٠٧) الداخلية منها أكبر من الخارجية ومتبادلة معها . وعدد الحزم فى كل حلقة محدود ، وهو أقل منها فى ساق عباد الشمس ، وهناك لحاءان فى كل حزمة لحاء خارجى (ل١) ولحاء داخلى (ل٢) كما هو مبين فى (شكل ١٠٧) . ويفصل الكامبيوم اللحاء الخارجى عن الخشب التالى ، أى أن الحزم هنا مفتوحة . أما اللحاء الداخلى فتفصله عن الخشب الأول خلايا بارنشيمية عادية . ويعرف هذا النوع من الحزم بالحزم ذات الجانبين (Bicollateral bundles) ، وهى منتشرة فى بعض فصائل النباتات الزهرية كالفصيلتين القرعية والباذنجانية ، وتختلف اختلافاً كبيراً عن الحزم الجانبية العادية . وعناصر الخشب واللحاء كبيرة لدرجة غير عادية فى الحزم ذات الجانبين ففى اللحاء تبدو الأنابيب الغربالية أوسع من الحجم المعتاد ، كما تبدو جدرها مغلظة بعض الشىء . وتظهر بالقطاع المستعرض أيضاً بعض حواجز غربالية كبيرة مستديرة ، تتميز بشكلها المنقط . وترى بجوار كل أنبوبة غربالية خلية مرافقة أو أكثر ، مثلثة الشكل غالباً . أما خلايا بارنشيمة اللحاء فوسط فى حجمها بين الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة ، ولكن جدرها غير

مغلظة كجدر الأنابيب الغربالية ، ولا تحتوى مثل ما تحتويه الخلايا المرافقة من مواد حية غزيرة . واللحاء فى جزأيه الخارجى والداخلى متماثل التركيب . وفى منطقة الخشب يمكن تمييز أوعية الخشب الأول الضيقة فى الناحية الداخلية وأوعية الخشب التالى الواسعة فى الناحية الخارجية ، وتختلط الأوعية بالكثير من الخلايا البارنشيمية ، ويمثل الخشبان الأول والتالى جزأى الخشب الابتدائى .

(شكل ١٠٧)



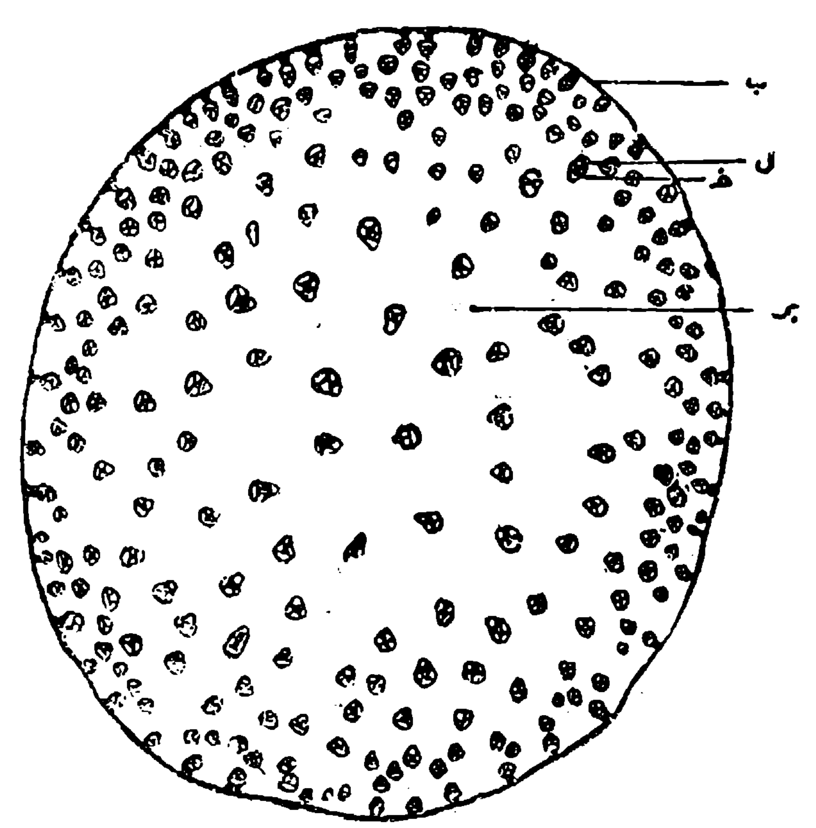
رسم توضيحى لقطاع مستعرض فى ساق القرع . (ب) البشرة ، (س . ك) منطقة من الخلايا سكلرانشيمية ، (ش . ث) خشب تالى ، (ك ش) خلايا كولنشيمية ، (ل ١) لحاء خارجى (ل ٢) لحاء داخلى ، (م) كامبيوم (عن فرتش وسالسبورى)

ساق ذوات الفلقة الواحدة

ساق الذرة :

إذا فحصنا قطاعاً مستعرضاً فى ساق الذرة ألفيناه يحتوى على عدد كبير من الحزم الوعائية ، مبعثرة فى النسيج الأساسى جميعه (شكل ١٠٨) ، ولا يتميز النسيج الأساسى إلى قشرة ونخاع — كما فى ذوات الفلقتين — كما أنه لا توجد أسطوانة وعائية تقابل تلك التى بسيقان النباتات الأخيرة . والنسيج الأساسى مكون كله من خلايا بارنشيمية فيما عدا طبقة واحدة أو طبقات قليلة من الألياف تقع تحت البشرة . والبشرة هنا — كما فى ذوات الفلقتين — تتكون من طبقة واحدة من الخلايا تغلف الساق ، وتتخللها ثغور فى أجزاء الساق القريبة من القمة النامية ، وتبرز منها شعيرات وحيدة الخلية ، تمثل امتدادات خلايا البشرة .

(شكل ١٠٨)

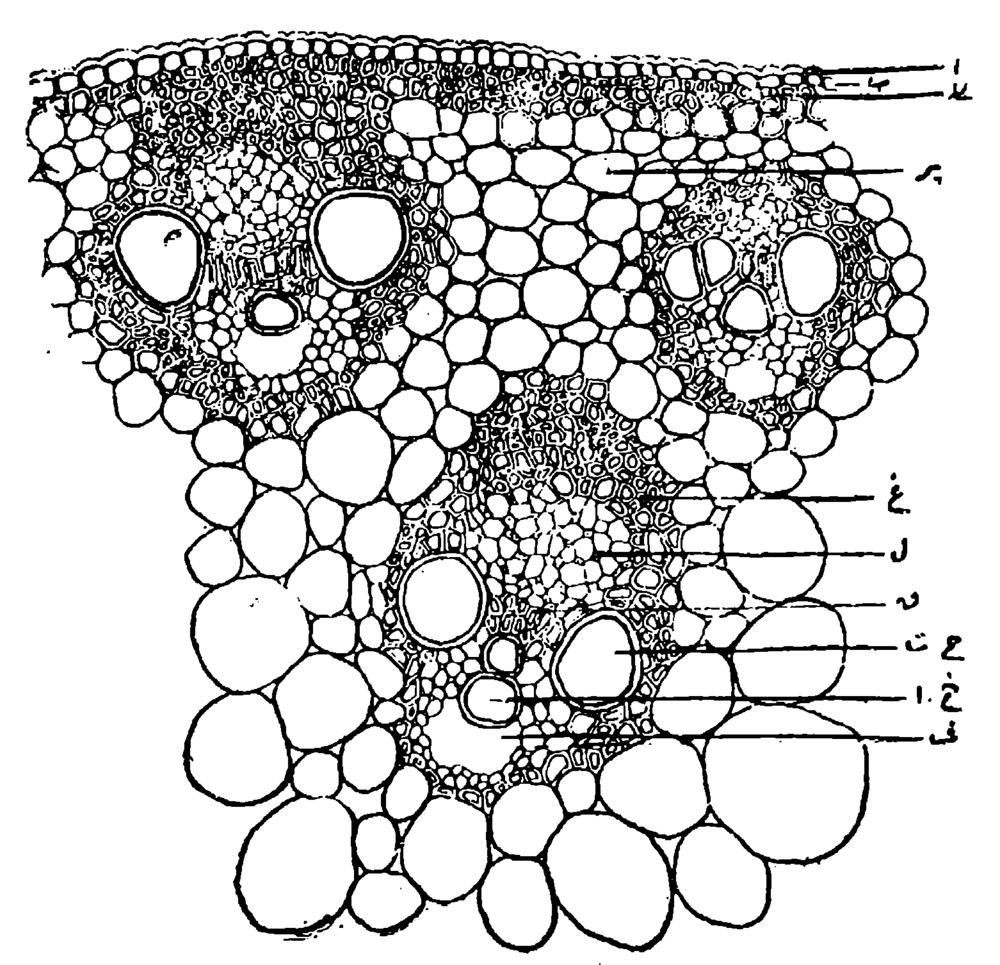


رسم تخطيطى يمثل توزيع الحزم الوعائية والأنسجة المختلفة و قطاع مستعرض لساق الذرة، وترى به : (ب) البشرة ، (ل) لحاء (خ) خشب، (بر) بارنشيمة النسيج الأساسى

والحزم الوعائية هنا غير منظومة فى حلقة أو حلقات كما فى ذوات الفلقتين ، وهى جانبية كحزم عباد الشمس ، تتركب كل واحدة منها من لحاء وخشب ابتدائيين على نصف قطر واحد ، ولكن ليس بينهما كامبيوم ، ولذلك توصف حزم ذوات الفلقة الواحدة بأنها حزم مغلقة (Closed bundles) ، وفى هــذا تختلف عن حزم ذوات الفلقتين — التى تحتوى على طبقة كامبيوم فى الوسط — وتعرف لذلك بالحزم المفتوحة (Open bundles) .

ويقع اللحاء إلى الخارج فى حزم سيقان ذوات الفلقة الواحدة ، كما يقع

(شكل ١٠٩)



رسم تفصيلى يمثل جزءا من قطاع مستعرض فى ساق الذرة يبين : (ا) أدمة ، (ب) بشرة ، (سكا) طبقات من خلايا سكلرنشيمية ، (بر) خلايا بارنشيمية ، (غ) غمد الحزمة الوعائية ، (ل) لحاء ، (ق) قصيبات ، (خ . ت) خشب تالى ، (خ . ا) خشب أول ، (ف) فجوة هوائية .

الخشب إلى الداخل . واللحاء بيضى الشكل أو مستدير فى القطاع المستعرض غائر قليلا بين أوعية الخشب التالى ، وخال خلواً تاماً من الخلايا البارنشيمية فهو يتركب من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة فقط ، ولذلك يبدو منتظم الشكل (شكل ١٠٩) . وجدر العناصر اللحائية لامعة رقيقة ، وتبدو الأنابيب الغربالية فارغة جوفاء ، أما الخلايا المرافقة فتبدو ممتلئة بالمحتويات الحية .

ويحتوى الخشب على عدد قليل من الأوعية ، مرتبة على شكل حرف « V » ، ويمثل الخشب التالى فى كل حزمة وعاءان كبيران من الأوعية المنقرة ، يشغلان ذراعى الحرف « V » ، ويستقر بينهما عدد قليل من القصيبات . أما الخشب الأول فتمثله أوعية قليلة من النوع الحلقى أو الحلزونى تليها إلى الداخل فجوة كبيرة غير منتظمة (ف ، شكل ١٠٩) تقع مع أوعية الخشب الأول على نصف قطر واحد ، وتمثل هذه الفجوة بعض أوعية الخشب الأول ، وقد تمزقت نتيجة الشد الواقع عليها بسبب استطالة الساق بسرعة فى أدوار النمو الأولى . ويحيط بأوعية الخشب الأول عدد قليل من الخلايا البارنشيمية الصغيرة ، ويمكن أحياناً تمييز بقايا جدر الوعاء الأول الممزقة داخل الفجوة الهوائية الواقعة عند الطرف الداخلى للخشب الابتدائى .

ويغلف كل حزمة من جميع جهاتها غمد من الألياف ، سمكه طبقتان أو ثلاث ، وتتصل أغماد الحزم الخارجية بألياف النسيج الأساسى الواقعة تحت البشرة .

الباب العاشر

التركيب الداخلى للجذور الحديثة

يمكن دراسة التركيب الداخلى لجذور النباتات الزهرية فى قطاعات مستعرضة ، حيث يلاحظ وجود المناطق الآتية قرب أطراف الجذور :

١ — **الطبقة الوبرية** (Piliferous layer) : وهى طبقة واحدة من خلايا رقيقة الجدر ، تغلف الجذر الحديث ، وتحمل شعيرات أنبوبية فى منطقة الامتصاص ، هى الشعيرات الجذرية .

٢ — **القشرة** : وهى منطقة واسعة من خلايا بارنشيمية ، تحد من الداخل بالبشرة الداخلية (Endodermis) .

٣ — **الاسطوانة الوعائية** : وهى مغلفة من الخارج بالطبقة المحيطية ، وتتكون من عدد من الأذرع الخشبية (Xylem archs) متبادلة الوضع مع مجموعات من اللحاء ، وتوجد عادة فى مركز الأسطوانة الوعائية منطقة صغيرة من خلايا بارنشيمية تمثل النخاع .

وسنتحدث بشىء من التفصيل عن كل منطقة من هذه المناطق الثلاث :

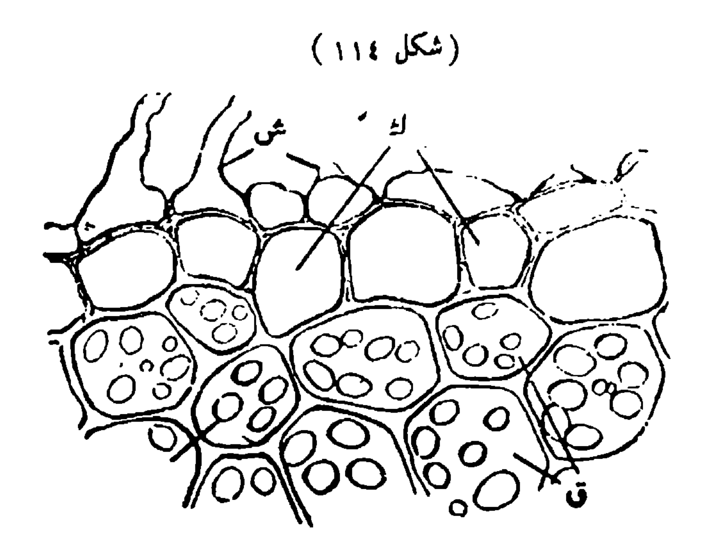
الطبقة الوبرية :

تقابل الطبقة الوبرية فى الجذور طبقة البشرة فى السيقان ، وتبدو تحت المجهر متمزقة الخلايا ومتقلصة ، وتمتد بعض خلاياها إلى الخارج مكونة شعيرات جذرية ، وتنحل هذه الطبقة وتذوى شعيراتها خلف منطقة الإمتصاص (شكل ١١٠) ، ولذلك لايمكن تمييزها بوضوح إلا فى القطاعات القريبة من القمة النامية .

أما الشعيرات الجذرية فتخرج كل واحدة من إحدى خلايا الطبقة الوبرية ، وتبدو كامتدادات أنبوبية غير متفرعة لتلك الخلايا ، وتنتهى

بقمة مستديرة ، وللشعيرة فجوة واسعة ، تشغل معظم فراغها الداخلى ، وتتصل بفجوة الخلية البشرية التى خرجت منها . وتمتلىء هذه الفجوة بالعصير الحلوى ، بينما يقتصر السيتوبلازم على طبقة رقيقة مبطنة للجدار من الداخل تنغمس فيها النواة .

(شكل ١١٤)



ذبول الطبقة الوبرية وظهور البشرة الخارجية فى جذر نبات الشقيق المداد (Ranunculus repens) : (ش) شعيرات جذرية ، (ق) خلايا القشرة ، (ك) البشرة الخارجية (عن فرنش وسالسبورى) .

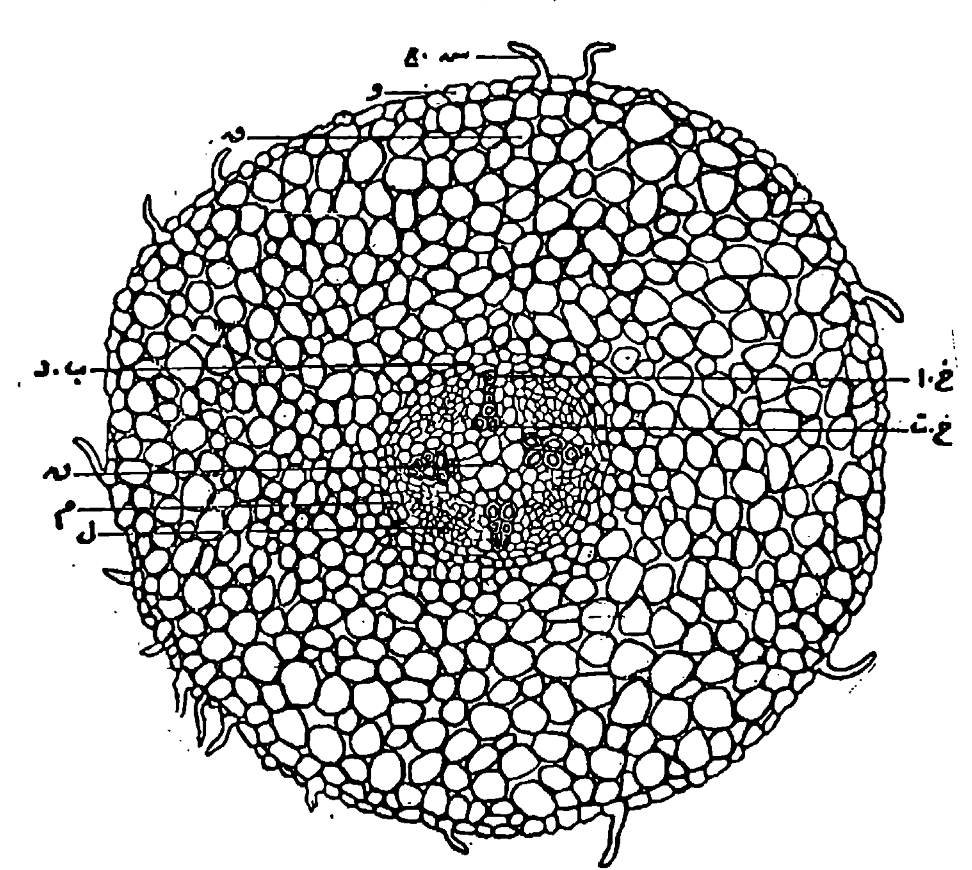
وتتميز تحت الطبقة الوبرية — فى أجزاء الجذر الواقعة خلف منطقة الامتصاص والتى تتقلص فيها الطبقة الوبرية وتنحل — منطقة أخرى تحل محلها فى حماية الأنسجة الداخلية ، وتمثل الطبقة الخارجية لمنطقة القشرة ، وتعرف بالبشرة الخارجية أو الإكسودرم (Exodermis) ، وتكون خلاياها فى العادة أصغر حجما من بقية خلايا القشرة . وتتميز طبقة البشرة الخارجية بلون جدرها البنى الداكن ، وبتغلظ هذه الجدر تغلظا طفيفاً ، وهى جدر مسوبرة (Suberized) ، والتسوبر نوع من التغير الكيميائى ، من شأنه أن يجعل الجدر غير نفاذة للماء ، ولذلك لايحدث هذا التغير إلا بعد أن تذوى الشعيرات الجذرية ، أى خلف منطقة الإمتصاص ، وبذلك لايحول حائل دون نفاذ الماء الذى تمتصه الشعيرات إلى الداخل ووصوله إلى الأسطوانة الوعائية . ومع ذلك ففى بعض الأحيان — وخاصة فى ذوات الفلقة الواحدة

حيث تتكون البشرة الخارجية فى طور مبكر — تتخلل خلايا هذه البشرة على مسافات منتظمة خلايا مرور (Passage cells) بارنشيمية رقيقة الجدر ، يمر خلالها الماء إلى الداخل .

القشرة :

القشرة فى الجذور الحديثة منطقة واسعة من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، تكثر فيها الفراغات البينية ، مكونة جهازا متصلا يسمح بتبادل الغازات مع الأعضاء الهوائية للنبات ، وتنتهى القشرة من الداخل بطبقة تعرف بالبشرة الداخلية أو الإندوديرم (Endodermis) ، خلاياها متراصة وليس بينها فراغات ، وتكون غلافا محكما حول الأسطوانة الوعائية (ب.د ،

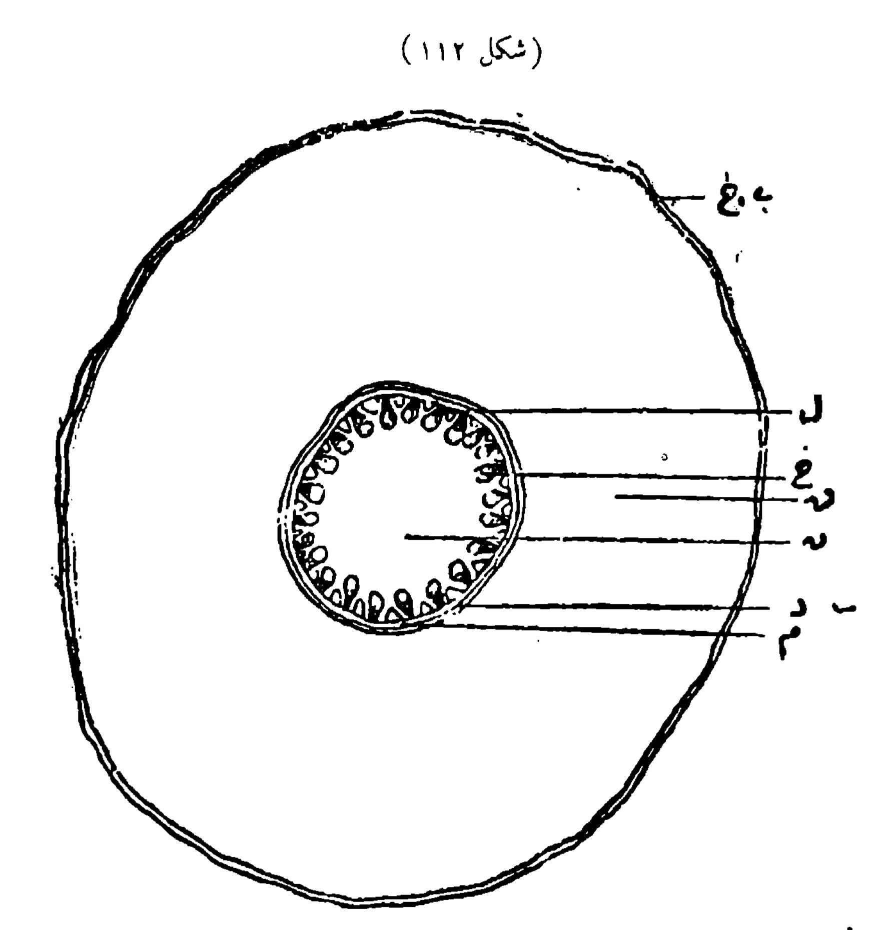
(شكل ١١١)



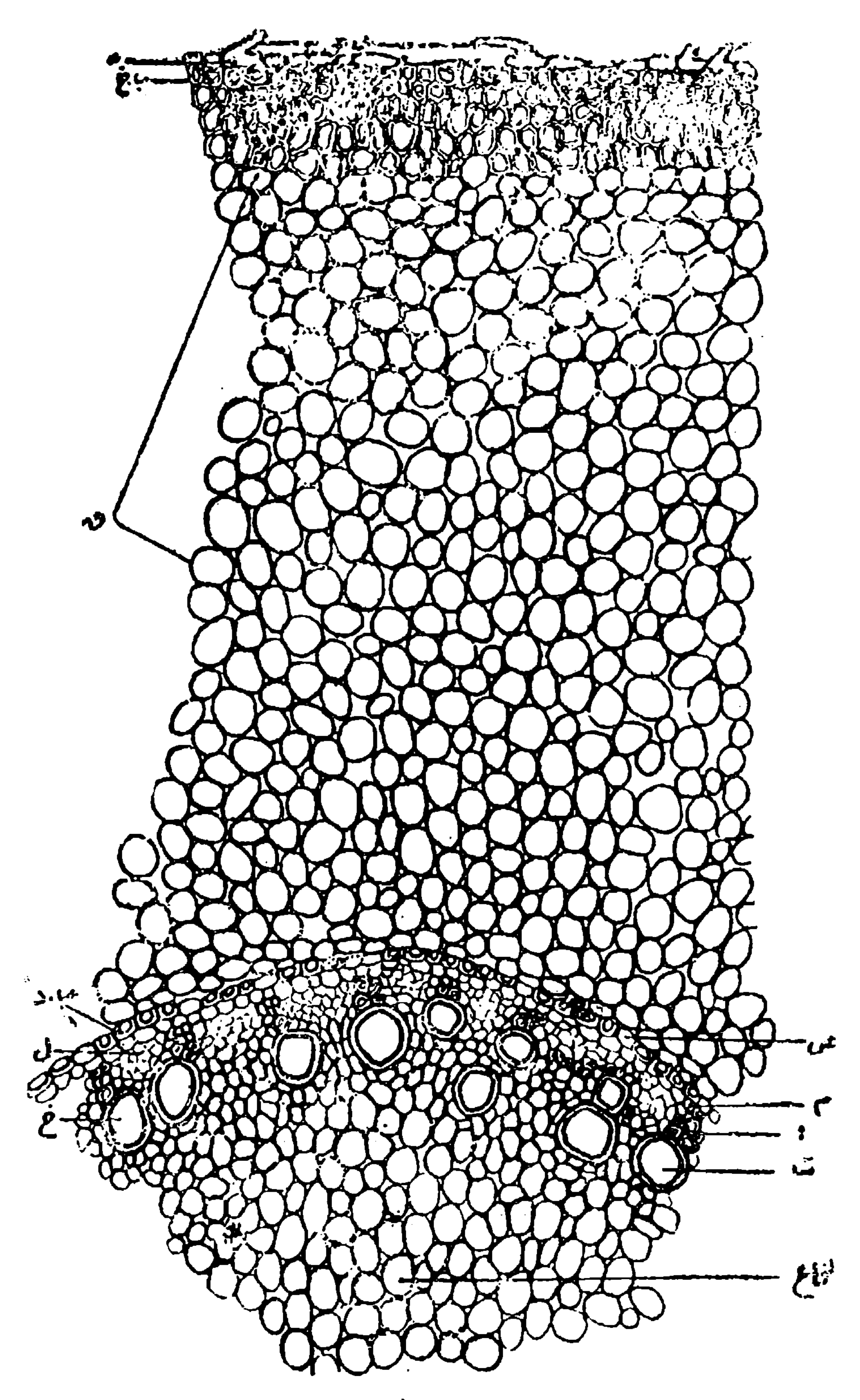
رسم تفصيلى لقطاع مستعرض فى جذر حديث لنبات الفول مبينا من الخارج الداخل :
(ش. ج) شعيرة جذرية ، (و) طبقة وبرية ، (ق) قشرة ، (ب • د) بشرة داخلية ،
(خ • ا) خشب أول ، (خ.ت) خشب تالى ، (م) طبقة محيطية ، (ل) لحاء ، (ن) نخاع .

أشكال ١١١ — ١١٤ (: وتترسب على الجدر القطرية لخلايا هذه الطبقة مادة تشبه السوبرين ، تكون شريطا يحيط بوسط الخلية ، ويعرف بشرط كاسبار (Casparian strip) . وفى جذور ذوات الفلقة الواحدة — كجذر السوسن الأصفـــر **(Hemerocallis)** شكلا ١١٣ — ١١٤ — ولا يقتصر التغلظ فى خلايا البشرة الداخلية على شريط كاسبار وحده ، بل يتجاوزه إلى جميع جدر الخلايا فى تلك الطبقة ، فيما عدا الجدر المحيطية الخارجية ، إذ تتغلظ هذه الجدر بطبقة سميكة من الكيوتين أو السوبرين ، تضفى عليها صلابة وقوة : وتمكنها من القيام بدور فعال فى تقوية الجذر وتدعيمه . وتبدو طبقة البشرة الداخلية متميزة وواضحة غاية الوضوح فى القطاع المستعرض (شكل ١١٤) . ولمـــا كانت مادة التغلظ غير نفاذة ، فإن البشرة الداخلية

(شكل ١١٢)



رسم تخطيطى لقطاع مستعرض فى جذر من جذور السوس الأصفر يبين . (ب . خ) بشرة خارجية ، (ل) لحاء ، (خ) خشب ، (ق) قشرة ، (ن) نخاع ، (ب. د) بشرة داخلية ، (م) طبقة محيطية .



رسم تفصيلي لجزء من قطاع مستعرض في جذر نبات السوسن الأصفر يبين :(ش . ج) شعيرات جذرية ، (و) طبقة وبرية ، (ب خ) بشرة خارجية ، (ق) القشرة ، (ب. د) بشرة داخلية ، (ص) خلية مرور ، (م) طبقة محيطية ، (ل) لحاء ، (خ) خشب ، (ا) خشب أول ، (ت) خشب تالي ، ويرى النخاع في الوسط ·

تمنع وصول الماء والعصارة النيئة إلى الأسطوانة الوعائية ، لولا بقاء خلاياها المقابلة للخشب الأول رقيقة الجدر غير مغلظة ، وبذلك تسمح بمرور الماء إلى الداخل . وتعرف هذه الخلايا الرقيقة بخلايا المرور (Passage cells) .

الأسطوانة الوعائية :

تبدأ الأسطوانة الوعائية بالطبقة المحيطية ، وهى طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية تقع خارج الحزم الوعائية مباشرة . والحزم الوعائية فى جذور ذوات الفلقتين قليلة العدد ، تتراوح فى الغالب بين حزمتين وثمان حزم ، وهى فى جذر الفول (شكل ١١١) أربع غالباً ، ويختلف عددها فى الأنواع المختلفة من النباتات . ولا يقع الخشب واللحاء الابتدائيان على نصف قطر واحد فى الساق بل يقعان على أنصاف أقطار متبادلة . ولذلك يعرف هذا الترتيب بالترتيب القطرى (Radial arrangement) . واللحاء هنا بيضى الشكل أو مستدير . ويتركب كما فى الساق من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة ومن بعض خلايا بارنشيمية أيضاً . أما الخشب فيتركب من أوعية مضلعة متلاصقة ، أصغرها — وهى المجاورة للطبقة المحيطية — تمثل الخشب الأول ، والكبيرة وهى الأقرب إلى المركز تمثل الخشب التالى ، وبذلك تكون الحزم الوعائية فى الجذور خارجية الخشب الأول (Exarch) . وأحيانا — كما فى بعض ذوات الفلقتين — يلتقى الخشب التالى لجميع الحزم ويلتحم فى مركز الجذر ، فلا يدع مكانا للنخاع (شكل ١١١) . أما فى جذور ذوات الفلقة الواحدة فيظل الخشب التالى عادة منفصلا ومتباعدا لايلتقى فى المركز ، وبذلك تتخلف فى وسط الجذر منطقة نخاع ضيقة من خلايا بارنشيمية مستديرة .

وتختلف جذور ذوات الفلقة الواحدة عن جذور ذوات الفلقتين فى كثرة الحزم الوعائية بالأولى ، مع قلة الأوعية فى كل حزمة . فإذا فحصنا قطاعا مستعرضا فى جذر نبات السوسن الأصفر (Hemerocallis) شكل ١١٢ . وجدنا الأذرع الخشبية يتكون كل منها من وعاء واسع متميز ناحية النخاع — يمثل الخشب التالى — ومن وعاء آخر أو وعاءين صغيرين ناحية الطبقة المحيطية ، يمثلان الخشب الأول .

والنخاع - كما قدمنا - موجود فى جذور معظم النباتات ذوات الفلقة الواحدة ، وقد تتلجنن خلاياه فى بعضها - كما فى جذور البلح - لتكون نسيجا دعاميا فى مركز الجذر .

وتقوم الأسطوانة الوعائية فى الجذر - عدا قيامها بنقل العصارة النيئة فى أوعية الخشب وقصيباته من أسفل إلى أعلى لتوزيعها على سائر أجزاء النبات - بتدعيم الجذر وتقويته لكثرة ماىها من عناصر ملجننة ، فهى تحميه من التقطع بقوة الشد التى يتعرض لها عادة . ولا يوجد فى معظم الجذور نسيج دعامى سوى الخشب ، يضاف إليه النخاع فى الحالات التى تتغلظ فيها جدر خلاياه على أنه فى بعض نباتات الفصيلة القرنية - كالبسلة والفول وغيرهما - توجد باللحاء مجموعات من الألياف ، تقوم بنصيب من التقوية والتدعيم .

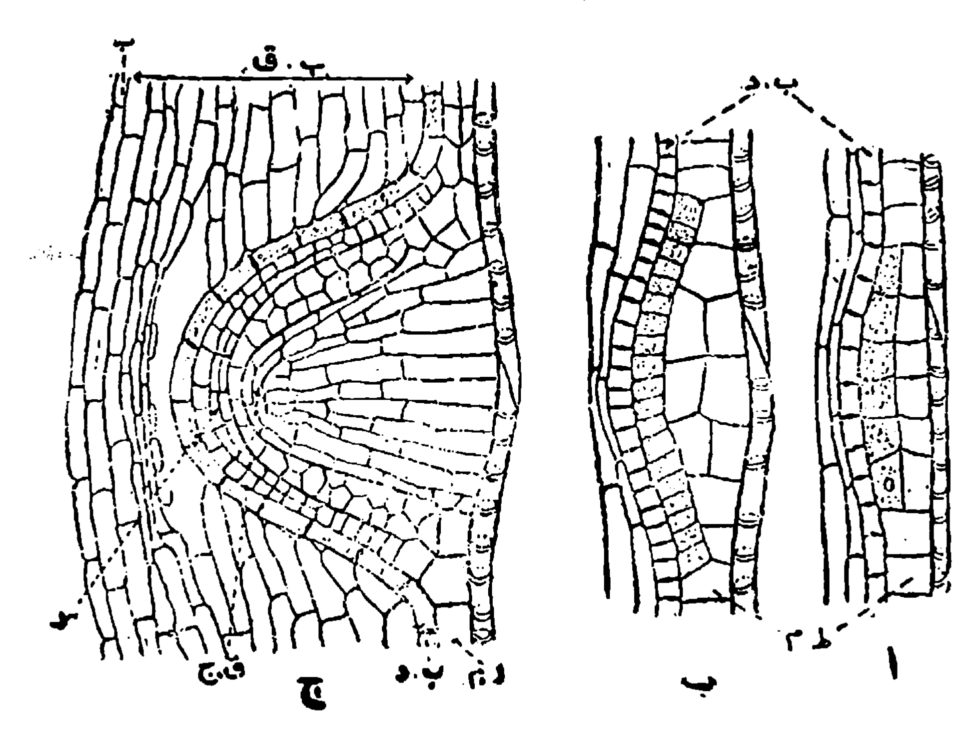
تكوين الجذور الجانبية

الجذور الجانبية ذوات أصل داخلى (Endogenous) ، لأنها تخرج من الأسطوانة الوعائية ، إذ تنقسم خلايا الطبقة المحيطية - إما مقابل الخشب الأول أو بينه وبين اللحاء - وبذلك تترتب الجذور الجانبية فى صفوف مساوية فى العدد للأذرع الخشبية أو ضعف عددها . وهذا الترتيب واضح بصفة خاصة فى ذوات الفلقتين . أما فى ذوات الفلقة الواحدة فإنه أقل وضوحا لكثرة ماىها من حزم .

وتشق الخلايا المنقسمة المتزايدة طريقها فى القشرة ، حتى إذا قاربت سطح الجذر كانت القلنسوة قد اكتمل تكونها (س ، شكل ١١٤ : ج) ، كما أن النسيج الإنشائى الأول بالقمة النامية للجذر الناشىء يكون قد تم تشكله إلى منشئات البشرة والقشرة والأسطوانة الوعائية . ويبدو أن اختراق الجذور الجانبية للقشرة يحدث بقوة آلية بحتة ، وإن كان هناك من يعتقد أن الجذر النامى يفرز من الإنزيمات مايذيب خلايا القشرة التى تعترض طريقه ويهضمها وبذلك يفسح لنفسه طريقا إلى الخارج .

هذا الأصل الداخلى للجذور الجانبية يميز الجذر عن الساق ؛ لأن فروع السيقان خارجية الأصل (Endogenous) ، إذ تخرج من الطبقات السطحية . ويعزى الأصل الداخلى للجذر إلى حاجته للتغلب على ما تبديه التربة من مقاومة لاختراقه إياها ، وخاصة فى صغره ، حيث تكون الأنسجة الإنشائية لينة .

(شكل ١١٤)



(ا — ج) الأطوار المختلفة لتكوين الجذر الجانبى ، (ب) الطبقة الخارجية ، (ب . د) بشرة داخلية ، (ب . ق) بارنشيمة القشرة . (ق) القلنسوة ، (ق . ج) القمة النامية للجذر ، (ط . م) الطبقة المحيطية (عن هولمان) .

الباب الحادى عشر

التركيب الداخلى للورقة

تظهر أصول الأوراق كنتوءات جانبية صغيرة قرب القمة النامية للساق ، خلاياها إنشائية متشابهة ،لاتميز بينها فى الشكل ولا فى الوظيفة،وتكبر هذه النتوءات بالتدريج نتيجة لانقسام الخلايا الإنشائية وازدياد الخلايا الجديدة فى الحجم ، كما تأخذ الأنسجة الإنشائية فى التحول تدريجياً إلى الأنسجة المستديمة التى تتكون منها الأوراق البالغة .

والورقة عضو مفلطح ، يتركب من نفس أنواع المجاميع النسيجية التى تتركب منها الساق ، وهى مجاميع الأنسجة الضامة والأساسية والوعائية . وتقع الحزم الوعائية فى الورقة على امتداد حزم الساق ، كما يقع المجموع النسيجى الضام على امتداد نظيره فى الساق .

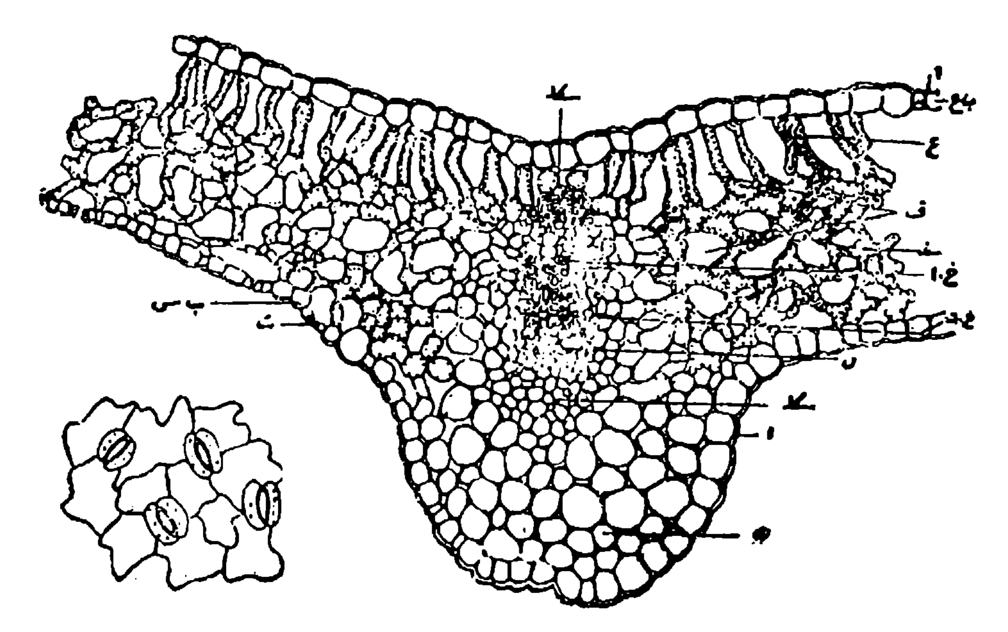
ويمكن دراسة التركيب الداخلى للورقة فى قطاع مستعرض فى وريقة الفول يمر بالعرق الوسطى والعروق الجانبية (شكل ١١٥) . يلاحظ فى ذلك القطاع أن العرق الوسطى يبرز قليلا على السطح الأسفل للوريقة ويقابل هذا البروز تقعر طفيف على السطح العلوى . وتنتشر الحزم الوعائية – التى تمثل العروق الجانبية – داخل النسيج الأساسى للورقة فيما بين العرق الوسطى وحافة النصل من الناحيتين ، وهذه الحزم أصغر وأقل وضوحاً من الحزمة الكبرى التى بداخل العرق الوسطى .

ويمكن تمييز الأجزاء الآتية فى القطاع المستعرض (شكل ١١٥) :

البشرة :

تغلف الورقة من أعلى ومن أسفل بشرة مكونة من طبقة واحدة من خلايا متماسكة ، جدرها الخارجية مغلظة بطبقة من الكيوتين ، متصلة فى

(شكل ١١٥)



وريقة الفول ، ويرى إلى اليمين قطاع مستعرض فيها ، وإلى اليسار جزء من البشرة السفلى فى منظر سطحى ليبين طريقة توزيع الثغور . ومن القطاع المستعرض يمكن تمييز : (ا) أدمة . (ب . ع) بشرة عليا ، (ع) خلايا عمادية ، (سكد) خلايا سكلرشيمية ، (ف) مسافات بينية واسعة ، (سف) خلايا إسفنجية ، (خ . ا) خشب أول ، (خ . ت) خشب تالى ، (ل) لحاء ، (ك) خلايا كولنشيمية ، (ب . س) بشرة سفلى ، (ث) ثغر

جميع الخـــلايا ، ومكونة أديما على سطح الورقة يعرف بالأدمة (Cuticle) ويختلف سمـــك الأدمة فى نبـــاتات البيئات المختلفة ، فهى أغلظ فى نباتات البيئات الجافة منها فى نباتات البيئات الرطبة ، كما أنها أغلظ على السطح العلوى للورقة منها على السطح السفلى . والبشرة وأدمتها تؤديان وظيفة الوقاية للأنسجة الداخلية ، إذ تحميانها من العوامل الضارة ، ومن بينها فقد الماء بالتبخر من خلايا النسيج الأساسى . ودور الأدمة فى هــــذه الوظيفة على جانب كبير من الأهمية ، وذلك لأنها تكاد تكون غير منفذة لبخار الماء ، ويزداد عدم إنفاذها للبخار بازدياد السمك ، فهى لذلك تحول دون فقد الماء بالنتح من سطوح الأوراق . ولا توجد بطبقة البشرة مسافات بينية ، وذلك مما يزيد إحكام تغليفها للأنسجة الداخلية ، كما يزيد كفايتها لوقاية هذه الأنسجة من الجفاف وفقد الماء . وفى بعض النباتات ــ كالنجيليات ــ تترسب مادة السيليكا فى جدر خلايا البشرة .

ولما كانت الأوراق الخضراء تؤدى للنبات وظائف هامة ، هى البناء الضوئى والنتح والتنفس ، وكلها وظائف تنطوى على تبادل الغازات بين الهواء الجوى والأنسجة الداخلية ، فإن ثقوباً تنتشر بغزارة فى طبقة البشرة ، ليتم التبادل الغازى خلالها حسب الحاجة ، وتلك هى الثقوب الثغرية (Stomatal pores) التى سبق التحدث عنها . ولا توجد بلاستيدات حضر بخلايا البشرة عموماً ، فيما عدا الخلايا الحارسة للثغور . غير أن النباتات المائية — على نقيض النباتات الأرضية — تشذ عن هذه القاعدة ، إذ تحتوى بشرتها على بلاستيدات خضر ، وقد تكون هذه أكثر غزارة فى خلايا البشرة منها فى الخلايا البارنشيمية التى تحتهـــا ، كما أن أوراق التريديات تحتوى هى الأخـــرى على بلاستيدات خضر فى خلايا البشرة ، وتعتبر البشرة فى نبات كزبرة البئر بالذات أهم طبقات النسيج التمثيلى .

وإذا نزعت وريقة الفول ، وفحصت بالمجهر ، أمكن مشاهدة تركيبها فى منظر سطحى (شكل ١١٥ إلى اليسار) . فيلاحظ أن جدر الخلايا متعرجة ومتداخلة ، وأن الثغور متناثرة بينها بانتظام . ويمكن تمييز الخليتين الحارستين فى كل ثغر بشكلهما الكلوى ، ويلاحظ أنهما تحتويان البلاستيدات الخضر المستديرة ، وتحصران بينهما الثقب الثغرى .

على أن تموج الجدر فى خلايا البشرة ليس من الصفات العامة لجميع النباتات ، بل يقتصر على بعضها دون البعض الآخر ، وهو أكثر حدوثاً فى ذوات الفلقتين منه فى ذوات الفلقة الواحدة ، إذ أن البشرة فى معظم النباتات الأخيرة ذات جدر مستوية .

وتوجد الثغور إما على سطح واحد من سطحى الورقة وإما على السطحين معاً ، وفى معظم نباتات البيئة متوسطة الرطوبة (Mesophytes) ، توجد ثغور بنسبة أكبر على السطح السفلى . أما فى النباتات التى يتخذ فيها النصل وضعاً جانبياً بحيث يتعرض السطحان للضوء والهواء بدرجة واحدة — كما فى أوراق الكافور — فإن عدد الثغور يكون متساوياً تقريبا على السطحين . وفى

النباتات المائية ذات الأوراق الطافية — كنبات البشنين (Nymphaea) — يقتصر وجود الثغور على السطح العلوى للورقة .

المجموع النسيجى الأساسى الوسطى :

يعرف المجموع النسيجى الأساسى للورقة بالمجموع النسيجى الوسطى (Mesophyll) ، وهو مجموع يلائم تركيبه أداء وظيفة البنـــاء الضوئى ، وينحصر بين البشرتين العليا والسفلى ، ويتميز إلى نسيجين : النسيج العمادى (Palisade tissue) جهة السطح العلوى ، والنسيج الإسفنجى (Spongy tissue) جهة السطح السفلى .

وفى وريقة الفول (شكل ١١٥) توجد طبقة واحدة من الخلايا العمادية تحت البشرة العليا ، بينما توجد طبقتان أو أكثر من هذا النسيج فى نباتات أخرى . وفى الحالة الأخيرة تكون خلايا الطبقة العمادية الخارجية أكثر طولا من خلايا الطبقات التى تليها ، ويقل الطول بالتدريج كلما تقدمنا إلى الداخل وهناك نوع ثالث من النباتات ، توجد بأوراقها طبقة علوية وأخرى سفلية من الخلايا العمادية ، تليان البشرتين مباشرة . ومن هذا النوع الأخير نبات الكافور (Eucalyptus) وغيره من النباتات التى تتخـــذ أوراقها وضعاً جانبياً والوضع السطحى للخلايا العمادية يتيح لها امتصاص أكبر قدر ممكن من الضوء .

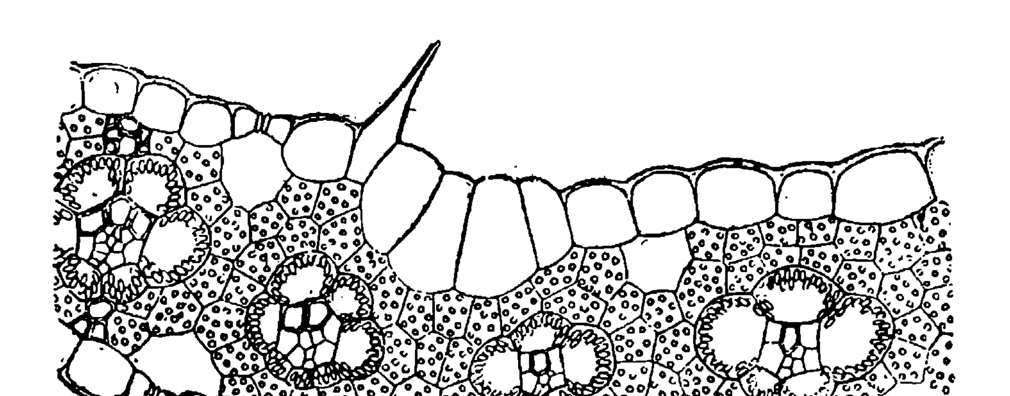
والخلايا العمادية هى إحدى أنواع الخلايا البارنشيمية . أسطوانية الشكل مستطيلة ، محورها الطولى متعامد على سطح الورقة . وتختلف نسبة طولها إلى عرضها فى النباتات المختلفة ، إذ تبلغ هذه النسبة (٦ : ١) فى ورقة عباد الشمس مثلا و (١٠ : ١) فى ورقة الخروع . وهى ممتلئة بغزارة بالبلاستيدات الخضر ، وتفصلها عن بعضها البعض مسافات بينية مستطيلة . ويقوم النسيج العمادى بالدور الأول فى وظيفة البناء الضوئى ، وتساعده على الاضطلاع بهذه الوظيفة وفرة ما به من بلاستيدات خضر ، وكذلك وفرة مسافاته البينية .

أما النسيج الإسفنجى فيلى النسيج العمادى من الداخل . ويتركب من خلايا غير منتظمة الشكل ، تفصلها مسافات بينية واسعة ، فتضفى عليها شكلا إسفنجياً مميزاً ، ومن هنا نشأت التسمية . وخلايا هذا النسيج مفككة لكثرة المسافات البينية واتساعها ، وتفيد هذه المسافات الواسعة فى تعريض مساحة كبيرة من جدر الخلايا للهواء المحتوى على الغازات التى تعتمد عليها هذه الخلايا فى عمليات التبادل الغازى ، وفى ذلك ما يعينها على حسن القيام بوظائفها . وتحتوى الخلايا الإسفنجية نسبة من البلاستيدات الخضر أقل من نسبتها فى الخلايا العمادية ، وذلك لبعدها عن الضوء . كما أنها أقل من الخلايا الأخيرة كفاية لأداء وظيفة البناء الضوئى .

وتتجمع الخلايا العمادية فى أطرافها الداخلية فى مجاميع صغيرة ، تتصل كل مجموعة منها بإحدى الخلايا الإسفنجية المجمعة (Collecting cells) ذات الجوانب المتعددة ، وتتجمع نواتج البناء الضوئى عادة فى هذه الخلايا ومنها تنتقل إلى الحزم الوعائية .

ومما تجدر الإشارة إليه أن تميز المجموع النسيجى الوسطى إلى نسيج عمادى وآخر إسفنجى ليس شائعاً فى أوراق ذوات الفلقة الواحدة (شكل ١١٦) شيوعه بين ذوات الفلقتين .

(شكل ١١٦)



جزء من قطاع مستعرض فى ورقة الذرة (عن سميث وآخرين) .

المجموع الوعائى :

مجموع الأنسجة الوعائية فى الورقة ممتد ومتشعب ، يكون شبكة من العروق فى ذوات الفلقتين ، وجهازاً متوازياً فى ذوات الفلقة الواحدة . وتغزو العروق جميع أجزاء الورقة وتتفرع فيها ، والتفرعات المتتالية للجهاز الوعائى لا تقتصر على تيسير توزيع الماء والأملاح المعدنية فى جميع أجزاء الورقة فحسبّ ، بل تتعدى ذلك إلى تيسير الإسراع بنقل الأغذية المجهزة بالورقة إلى بقية أجزاء النبات ، وإزاحتها من مواضع تكوينها ، حتى لا يحول تراكمها دون تكوين مواد جديدة تحل محلها . وبالإضافة إلى ذلك يكون المجموع الوعائى المتشعب هيكلا مقوياً للورقة ، يحفظ لها قوامها ويمنعها من التهدل ، ويحميها من أضرار العوامل الخارجية . ويساعد على تحقيق هذه الغاية أيضاً وجود أنسجة دعامية أخرى سكارنشيمية وكولنشيمية — إما مرافقة للحزم الوعائية أو موزعة فى أجزاء مختلفة من النصل ، وتوجد هذه الأنسجة الدعامية بنوع خاص حول الحزم الرئيسية .

الحزم الوعائية :

تقع الحزمة الوعائية الرئيسية للورقة فى عرقها الوسطى (العير) وتتصل بها من أسفل خلايا بارنشيمية تتلوها خلايا كولنشيمية ، ويبرز العير على السطح السفلى للورقة مكوناً نتوءاً طولياً يمتد بطول النصل ، غليظاً عند القاعدة ويستدق بالتدريج تجاه القمة . وتقوم الخلايا الكولنشيمية بدور هام فى تدعيم الورقة وتقويتها ، ولا تحتوى إلا على قدر ضئيل من البلاستيدات الخضر ، ولذلك لا تؤدى دوراً هاماً فى عملية البناء الضوئى ، بل تقتصر أهميتها على التدعيم ، وتوجد خلايا كولنشيمية أخرى فوق الحزمة فى بعض الأوراق ، ولكن بكمية أقل مما تحتها . والملاحظ أن درجة تغلظ الخلايا الكولنشيمية أكبر ما تكون تحت البشرتين مباشرة ، وتقل بالتدريج كلما اتجهنا نحو الحزمة الوعائية . وتحاط الحزم الرئيسية من كل جانب بأنسجة بارنشيمية متعددة الطبقات قليلة البلاستيدات ، تفصلها عن النسيج الوسطى ، أما الحزم

الفرعية فيحيط بكل منها غمد محكم من طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية متماسكة . وفى بعض النباتات تمتد الأغماد أعلى الحزم أو أسفلها — أو على الناحيتين معاً — فى شكل أشرطة تصل ما بين الحزمة وإحدى البشرتين أو كلتيهما ، وتعرف هذه الأشرطة « بامتدادات أغماد الحزم » (Bundle-sheath extensions) ، وهى كثـيرة الانتشار فى ذوات الفلقة الواحدة كنبات الديس (Typha) وكثير من النجيليات .

وتتكون أغماد الحزم فى أوراق ذوات الفلقة الواحدة إما من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر تحتوى على بلاستيدات خضر ، وإما من خلايا مغلظة الجدر عديمة البلاستيدات . وأحياناً يتكون الغمد من طبقتين ، خارجية رقيقة وداخلية مغلظة .

وتتكون كل حزمة من خشب ناحية السطح العلوى ولحاء ناحية السطح السفلى . ويتكون الخشب من صفوف من الأوعية ، أصغرها — وهو الخشب الأول — يتجه ناحية السطح العلوى ، وأكبرها — وهو الخشب التالى — يتجه ناحية اللحاء ، وتفصل صفوف الأوعية صفوف من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر . أما اللحاء فيتركب من عناصره المعتادة ، ويمكن فى كثير من الأحيان رؤية منطقة كامبيومية بين الخشب واللحاء ، وخصوصاً فى النباتات دائمة الخضرة ، التى تبقى أوراقها على النبات أكثر من فصل نمو واحد .

ويقل تميز الحزم الوعائية ، كما تزداد البساطة فى تركيبها ، تدريجياً كلما جاوزنا العروق الرئيسية إلى فروعها الدقيقة . فاللحاء مثلا يصبح أقل تميزاً ، ويحل محله نسيج من خلايا طويلة متجانسة رقيقة الجدر ، وحتى هذه تختفى تماماً فى أطراف الحزم . كذلك تخلى الأوعية الخشبية بالحزم الرئيسية مكانها لقصيبات قصيرة ، حلزونية أو شبكية ، كما تقل كمية البارنشيمة الخشبية بالتدريج حتى تختفى تماماً . وعلى ذلك فأطراف الحزم تتكون من بضع قصيبات يحيط بها غمد من طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية .

الباب الثانى عشر

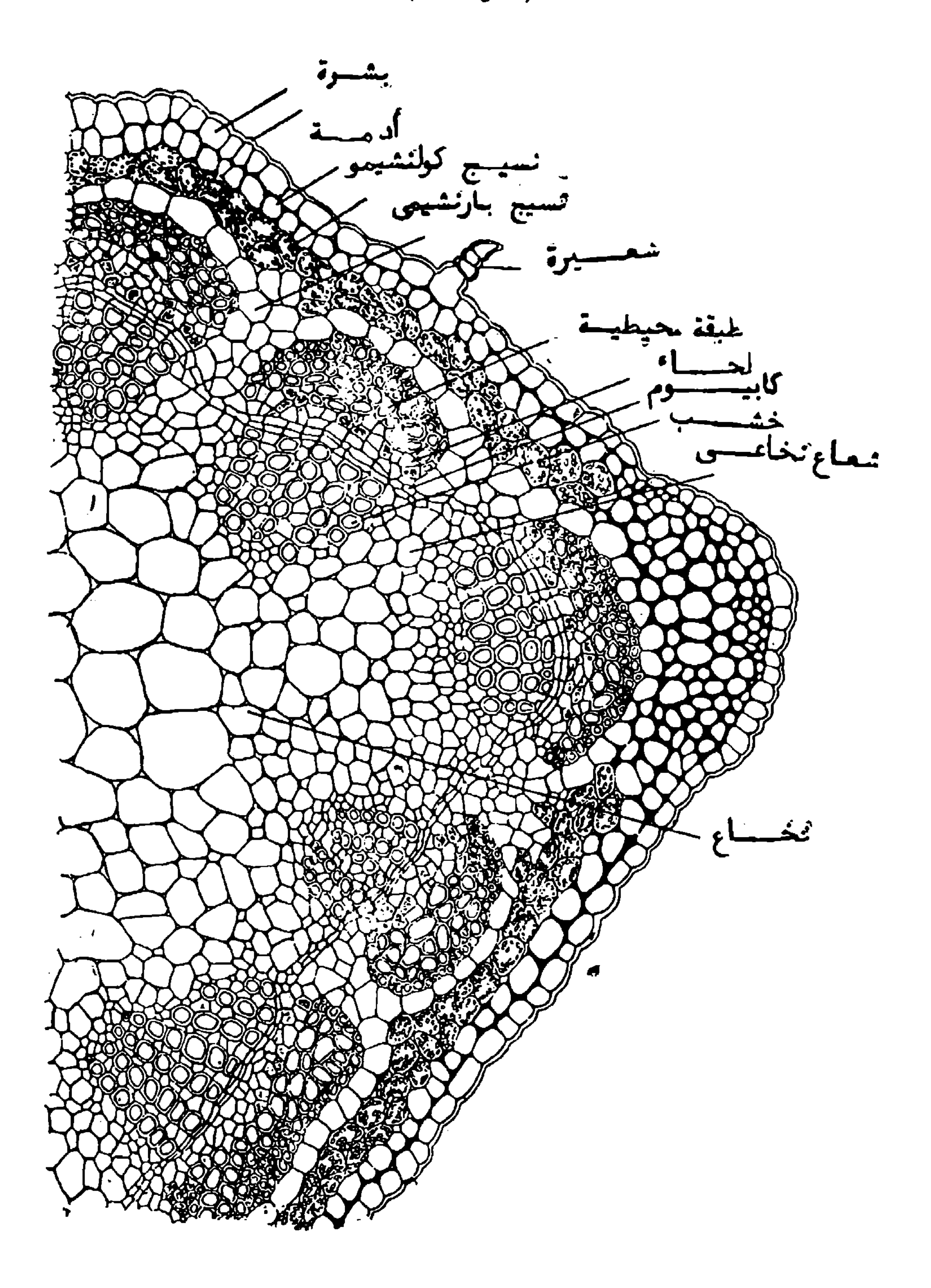
التغلظ الثانوى

(التغلظ الثانوى فى ساق ذوات الفلقتين)

تزداد حاجة الأوراق إلى المواد الغذائية كلما زاد حجمها ، ولذلك فإن حجم المجموع الوعائى للساق يتناسب مع مساحة سطوح الأوراق التى تحملها . ولما كان هناك ازدياد مضطرد كل عام فى كمية الأوراق الخضراء التى تنتجها النباتات الخشبية المعمرة فإن الحاجة تتزايد باضطراد إلى تكوين عناصر توصيلية جديدة . وتتكون هذه العناصر نتيجة نشاط ثانوى للكامبيوم الذى يقع بين الخشب واللحاء فى الحزم الوعائية . وازدياد كمية الأنسجة الوعائية — بوساطة النشاط الثانوى للكامبيوم الحزمى — يعتبر من الصفات المميزة للنباتات عارية البذور وذوات الفلقتين ، لأن هذه النباتات هى وحدها التى تحتوى على كامبيوم ، باستثناء بعض أنواع التريديات وبعض نباتات من ذوات الفلقة الواحدة . أما غالبية النباتات الأخيرة فلا وجود للكامبيوم فيها ، ولذلك فهى تزداد فى الحجم أساساً بكبر الخلايا التى تكونت فى أدوار النمو الابتدائى ، وذلك ما يحدث فى النخيل مثلا . وهناك بعض نباتات أخرى من ذوات الفلقة الواحدة تقوم بنشاط ثانوى من نوع خاص يؤدى إلى ازدياد حجم مجموعها الوعائى بعد أن يكون قد استكمل نموه الابتدائى .

ويؤدى انقسام خلايا الكامبيوم فى ذوات الفلقتين — وفى النباتات عاريات البذور — إلى تكوين عناصر توصيلية جديدة ، ويكون ذلك مصحوباً فى العادة بازدياد تدريجى فى سمك الساق ، يطلق عليه اسم « التغلظ الثانوى » (Secondary thickening) .

(شكل ١١٧)



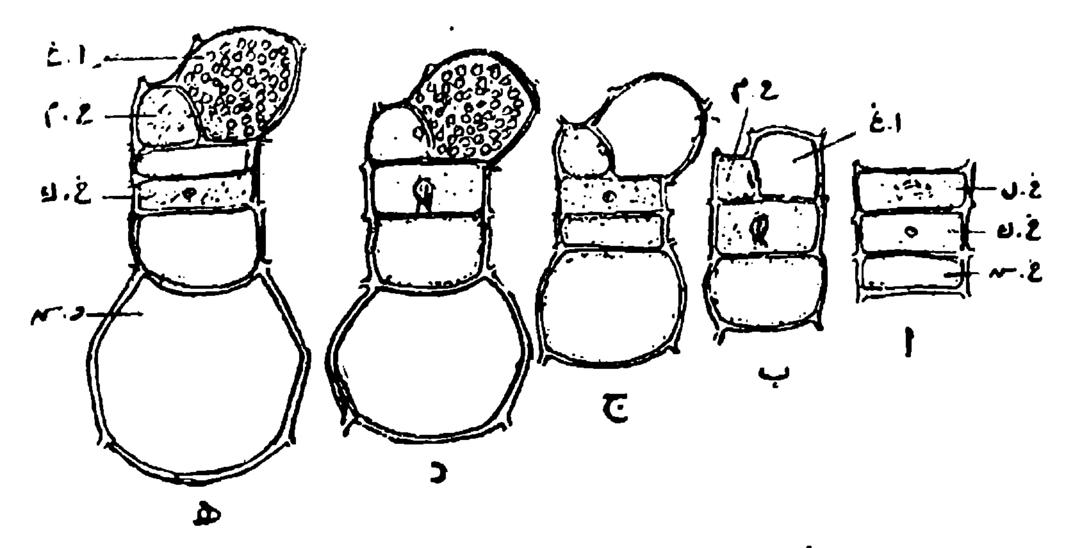
جزء من قطاع مستعرض فى ساق نبات البرسيم الحجازى عند بداية التغلظ الثانوى يبين : (ا) أدمة ، (ب) بشرة ، (خ . ش) نسيج كولنشيمى : (خ. ب) نسيج بارنشيمى : (د) غلاف نشوى : (ز) شعيرة : (ط) طبقة محيطية ، (ل) لحاء ، (ك) كامبيوم ، (ش) خشب ، (ع) شعاع نخاعى ، (ن) نخاع (عن سميث وآخرين) .

ويعد الكامبيوم الحزمى بمثابة بقية من منشيء الأسطوانة الوعائية ، لم تتحول إلى أنسجة وعائية ابتدائية ، بل ظلت على حالتها الإنشائية الأولى حتى نهاية النمو الابتدائى للساق . وتتكون من هذه البقية بعد فترة من الركود الأنسجة الثانوية التى تسبب التغلظ الثانوى بالساق . ويعرف الكامبيوم الذى بداخل الحزم « بالكامبيوم الحزمى » (Fascicular cambium) . وعند ابتداء التغلظ الثانوى تتصل أشرطة هذا الكامبيوم الحزمى عادة فى الحزم المتجاورة بوساطة أشرطة كامبيومية أخرى جديدة ، تعرف « بالكامبيوم بين الحزمى » (Interfascicular cambium) ، تنشأ فى الأشعة النخاعية الأصلية التى تفصل تلك الحزم . وتمتد تلك الأشرطة الجديدة على استقامة الكامبيوم الحزمى (شكل ١١٧) ، حتى يصبح بذلك الكامبيوم كله أسطوانة متصلة كاملة . ومما تجدر الإشارة إليه أن بعض النباتات — وخاصة العشبية — لا يتكون بها كامبيوم بين حزمى ، ويقتصر فيها النشاط الثانوى على الكامبيوم وحده ، كما هو الحال فى نباتى الشقيق (Ranunculus) والعايق (Delphinium) .

ويبدأ النشاط الثانوى للكامبيوم الحزمى بانقسام خلاياه المرة تلو الأخرى بجدر محيطية موازية لجدرها المحيطية الأصلية . وفى كل مرة تنقسم خلية الكامبيوم إلى خليتين ، إما أن تبقى الداخلية منهما إنشائية ، وفى هذه الحالة تتحول الخارجية إلى عنصر لحاء ، أو تبقى الخارجية إنشائية ، فتتحول الداخلية إلى عنصر خشب ويسمى الخشب واللحاء الجديدان بالخشب واللحاء الثانويين ، وتعطى نفس الخلية الإنشائية الأصلية عناصر الخشب واللحاء كليهما فى انقساماتها المتتالية .

أما الكامبيوم بين الحزمى فيبدأ نشاطه فى وقت واحد مع الكامبيوم الحزمى ، ويستمر نشاط الأسطوانة الكامبيومية — المكونة من الكامبيومين الحزمى وبين الحزمى — فى السيقان الخشبية المعمرة إلى أجل غير محدود ، فتعطى لحاء ثانوياً إلى الخارج وخشباً ثانوياً إلى الداخل (شكل ١١٨) . وفى أغلب الأحيان يقف نشاط الكامبيوم فى بعض أوقات السنة — كفصل الشتاء مثلا — لعدم ملاءمة الأحوال الجوية للنمو ، ولكنه لا يلبث أن يعاود

(شكل ١١٨)



(ا ـ هـ) الأطوار المتعاقبة لتشكل خلايا الكامبيوم بعد انقسامها . (ا . غ) أنبوبة غربالية ، (خ ش) خلية خشب ، (خ . ك) خلية إنشائية ، (ح . ل) خلية لحاء (خ . م) خلية مرافقة ، (و ش) وعاء خشبي .

نشاطه بعد أن ينقضى الفصل غير الملائم ، وتصبح الظروف الجوية أكثر اعتدالا ، وبهذه الطريقة يكون الخشب الثانوى الذى يضاف إلى الداخل أسطوانة يزداد قطرها عاماً بعد عام . ولما كانت عناصر الخشب قوية مغلظة فإن العناصر الخشبية لا تنضغط تحت تأثير الازدياد المستمر فى تغلظ الساق ، وما يقع بسببه من شد على اللحاء . وبالإضافة إلى ذلك ينتج الكامبيوم من الخشب أكثر مما ينتج من اللحاء ، ولذلك فإن منطقة اللحاء الثانوى تكون فى العادة أقل اتساعاً من منطقة الخشب الثانوى ، ولا تساهم بنصيب يذكر فى زيادة سمك الساق ، ويكون الخشب الثانوى هو العامل الأول فى التغلظ الثانوى .

ويلاحق الكامبيوم الازدياد المستمر فى قطر الخشب الثانوى واللحاء الثانوى بتوسيع محيطه بإحدى طريقتين : إما بالانقسام فى اتجاه قطرى يتبعه نمو الخليتين الناشئتين إلى الحجم الأصلى ، أو بالانقسام فى اتجاه محيطى يعقبه ذوبان الصفيحة الوسطى من بين الخليتين ، وانزلاق العليا فوق السفلى حتى تصبح مجاورة لها بعد أن كانت تستقر فوقها . وقد تحدث الطريقتان معاً فى نفس الساق .

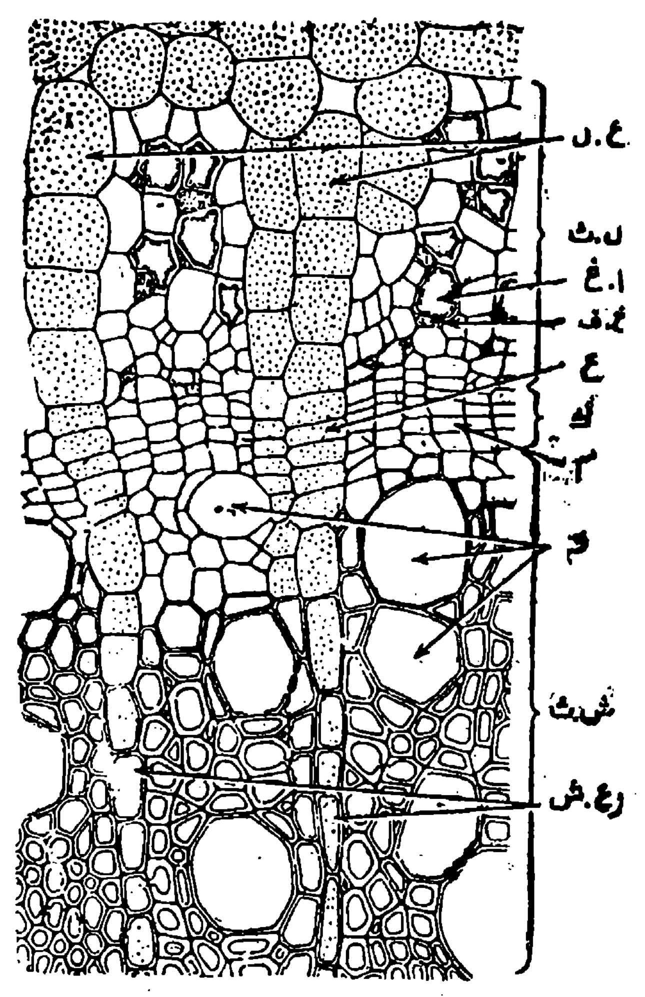
ويترتب على تكوين الأنسجة الوعائية الثانوية إزاحة اللحاء الابتدائى إلى الخارج والخشب الابتدائى إلى الداخل ، وازدياد بعدهما عن أسطوانة الكامبيوم باستمرار . ويؤدى الضغط الحادث من هذا التغلظ المستمر إلى شد عناصر اللحاء الابتدائى فى اتجاه محيطى ، ينتهى بانغلاقها حتى لا تعود قادرة على الاستمرار فى أداء وظيفة التوصيل ، وينتهى بها الأمر إلى التمزق والاختفاء كلية . أما الخشب الابتدائى فلا يحدث به مثل هذا الانضغاط ، لقربه من مركز الساق ، وعدم تعرضه لنفس الدرجة من الشد المحيطى الذى يتعرض له اللحاء الابتدائى البعيد عن المركز . ولذلك يحتفظ الخشب الابتدائى بشكله دون تغيير ، ويرى عند النهاية الداخلية للخشب الثانوى وعلى امتداده . وكثيراً ما تترتب أوعيته فى صفوف قطرية واضحة يكون فيها الخشب التالى مجاوراً للخشب الثانوى ، والخشب الأول متجهاً إلى الداخل ، ويقع الخشب الابتدائى مع الخشب الثانوى على نصف قطر واحد .

ومن أدلة التوتر الذى تعانيه الأنسجة الخارجية فى السيقان المتغلظة ، أننا إذا قطعنا قشرة ساق من هذه السيقان بخدشها طولياً خدشاً سطحياً غير غائر ، فإننا نلاحظ أن حافتى الخدش تتباعدان سريعاً ، نتيجة لانكماش الأنسجة السطحية فى اتجاه محيطى بمجرد إزالة التوتر الواقع عليها ، وما التشقق الذى نشاهده فى قلف جذوع الأشجار إلا مظهراً من مظاهر هذا التوتر .

وفى بعض أجزاء الحلقة الكامبيومية ، يتكون الكامبيوم من خلايا متساوية الأبعاد تقريباً ، تنتج بانقسامها خلايا بارنشيمية إلى الداخل والخارج بدل العناصر الوعائية ، وتختلف نواتج الانقسام فى هذه الحالة عن عناصر الخشب واللحاء الثانويين فى كونها خلايا مستطيلة قطرياً لا رأسياً . وتنتظم هذه الخلايا البارنشيمية عادة فى صفوف قطرية تعرف بالأشعة النخاعية . ويمكن تمييزها بوضوح فى قطاع مستعرض فى ساق مغلظة من سيقان ذوات الفلقتين ، ويبلغ سمكها طبقة أو أكثر من الخلايا . وهى تمثل صفائح تخترق الأنسجة الوعائية فى اتجاه قطرى . وتمتد بعض هذه الأشعة من القشرة إلى النخاع ، وتشغل مكان الأشعة النخاعية الأصلية فى الساق الحديثة ،

وبعضها لا تبلغ القشرة ولا النخاع ، ولكنها تنتهى داخل اللحاء الثانوى والخشب الثانوى ، وتعرف بالأشعة الوعائية (Vascular rays) — (شكل ١١٩) — وهى تتكون متأخرة عن الأشعة الابتدائية وتكثر فى السيقان الخشبية ، وتنشأ إما من الكامبيوم الحزمى وحده أو منه ومن الكامبيوم بين الحزمى ، وذلك بتوقف نشاط خلية أو أكثر من خلايا الحلقة الكامبيومية عن إنتاج لحاء ثانوى إلى الخارج وخشب ثانوى إلى الداخل ، وإنتاج خلايا بارنشيمية على الناحيتين — بدلا من العناصر الوعائية — وباستمرار نشاط الكامبيوم يزداد امتداد هذه الأشعة فى اتجاه قطرى داخل الأنسجة الوعائية الثانوية المتكونة حديثاً . ويزداد عدد الأشعة الوعائية باستمرار أثناء التغلظ الثانوى ازدياداً يتناسب مع الزيادة المضطردة فى قطر الساق . ويكون دائماً أكبر فى الجزء

(شكل ١١٩)



جزء من قطاع مستعرض فى ساق المشمش الغاطلة يبين : (ع ل) أشعة لحائية (ل ث) لحاء ثانوى ، ويشاهد به تشكل الأوعية الغربالية من خلايا الكامبيوم ، (ا.غ) أنبوبة غربالية ، (خ.ف) خلية مرافقة ، (ع) خلايا إنشائية شعاعية ، (ك) كامبيوم ، (م) الخلايا الكامبيومية المنشئة للخشب ، (و) أوعية خشبية فى مراحل مختلفة من التكوين ، (ش ث) خشب ثانوى ، (ع.ش) أشعة خشبية ، كذلك ترى الأشعة الوعائية بمنطقتى الخشب واللحاء الثانويين (عن إسو) .

الخارجي من أسطوانة الخشب الثانوى - وهو الأحدث تكويناً - منه فى الجزء المركزى القديم. ويتوقف مدى تغلغل الأشعة الوعائية قطرياً فى الخشب واللحاء على عمرها ، فكلما كانت أقدم زادت المسافة التى تتغلغلها فى الأنسجة الوعائية الثانوية .

وجملة القول إن الأشعة النخاعية تنشأ من إنتاج الكامبيوم بين الحزمى لخلايا بارنشيمية منذ بداية نشاطه الثانوى ، بينما يبدأ تكوين الأشعة الوعائية بعد أن يكون الكامبيوم قد استمر فى إعطاء لحاء وخشب ثانويين لفترة من الزمن ، توقف بعدها عن إنتاج عناصر وعائية ، وأخذ فى إنتاج عناصر بارنشيمية بدلا منها .

ويختلف كثيراً نظام التغلظ الثانوى فى النباتات المختلفة ، ففى بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين - كالبرسيم الحجازى **(Medicago)** - لا ينتج الكامبيوم بين الحزمى فى الناحية الداخلية سوى ألياف أو خلايا بارنشيمية ملجننة ، وأحياناً يكون التغلظ الثانوى طفيفاً ومقصوراً على الحزم الوعائية وحدها ، لا يتجاوزها إلى ما بينها من أشعة نخاعية ، كما فى القرع والبرسيم .

وفى بعض النباتات الخشبية - كالزيزفون **(Tilia)** ، شكل ١٢٠ . والتبغ **(Nicotiana)** - تكون الأنسجة الوعائية الابتدائية مرتبة فى حزم متقاربة غاية التقارب ، لضيق الأشعة التى تفصلها ، ولذلك تتخذ هذه الأنسجة شكل أسطوانة كاملة متصلة . وفى هذه الحالة تتخذ الأنسجة الوعائية الثانوية أيضاً نفس الشكل الأسطوانى المغلق .

وهناك نباتات عشبية وأخرى خشبية كالصنوبر **(Pinus)** وغيره من المخروطيات ، وكذلك المشمش **(Prunus)** والصفصاف **(Salix)** ، تكون فيها الأنسجة الوعائية الابتدائية فى شكل حزم متفرقة ومتباعدة ، ولكن تتخذ الأنسجة الوعائية الثانوية شكل اسطوانة متصلة مغلقة .

وفى بعض النباتات كالعنب **(Vitis)** والأرسطولوخيا **(Aristolochia)** تكون الأنسجة الوعائية الابتدائية جهازاً من الحزم المنفصلة المتباعدة . وينتج

الكامبيوم بين الحزمى خلايا بارنشيمية شعاعية فقط ، ولذلك فإن الأنسجة الوعائية الثانوية تكون مرتبة هى الأخرى فى حزم منفصلة ومتباعدة .

الخشب الثانوى :

يتكون الخشب الثانوى من أربعة أنواع من العناصر ، هى الأوعية والقصيبات والألياف وبارنشيمة الخشب . وقد سبق وصف كل نوع من هذه الأنواع بالتفصيل . ويلاحظ أن عناصر الخشب الثانوى تترتب عادة فى نظام قطرى واضح ، ولو أن هذا الترتيب قد يختل قليلا فى بعض الأحيان ، نتيجة لكبر بعض الأوعية لدرجة تزيد على سمك الصف الذى تقع فيه ، ولما يسببه تضخم هذه الأوعية من ضغط على العناصر الملاصقة لها فى الصفوف المجاورة يخرجها عن صفوفها الأصلية ، فيؤدى ذلك إلى حجب الترتيب القطرى للعناصر (شكل ١١٩) . أما السبب فى هذا الترتيب القطرى فهو أن كل صف من صفوف الأوعية ناتج من نشاط خلية كامبيومية واحدة .

وتوجد بجدر الأوعية فى الخشب الثانوى نقر عديدة — مضفوفة أحياناً — ومرتبة فى صفوف رأسية ، وكثيراً ما يصاحب هذا التنقير تغلظ شبكى أو حلزونى على السطح الداخلى للجدار . أما القصيبات فلها مثل اتساع الأوعية تقريباً ، ولكنها أقصر من الأخيرة كثيراً وطرفاها مغلقان . ونسبة الأوعية فى الخشب الثانوى أكبر كثيراً من نسبة القصيبات ، بل إن القصيبات لا وجود لها على الإطلاق فى سيقان بعض النباتات ، كساق الصفصاف .

أما ألياف الخشب فهى كما سبق أن ذكرنا مدببة الأطراف مغلظة الجدران ، وبجدرها عادة نقر بسيطة على هيئة شقوق ضيقة مائلة ، ومادة التغلظ هى اللجنين غالباً . وليس بالألياف محتويات حية ، وفى بعض النباتات — كالعنب — تكون مقسمة عرضياً . وتلك حالة متوسطة بين الألياف العادية وبارنشيمة الخشب .

وتشبه الخلايا البارنشيمية فى الخشب الثانوى نظائرها فى الخشب الابتدائى من حيث شكلها واحتوائها على الكتلة الخلوية الحية (البروتوبلاست) إلا أن الجدر تكون أكثر سمكاً عادة فى بارنشيمية الخشب الثانوى منها فى بارنشيمية الخشب الابتدائى ، وقد تتلجنن أحياناً ، وتتوزع الخلايا البارنشيمية فى بعض السيقان توزيعاً منتظماً داخل أنسجة الخشب الثانوى ، ولكنها فى الغالب تتركز حول الأوعية . وعندما تتجاور خلية بارنشيمية ووعاء ، فإن نقراً تتكون على جدار الخلية البارنشيمية فى نفس المواضع التى بها نقر الوعاء ، ولكن على الجانب المقابل من الجدار المشترك ، وتكون النقر فى هذه الحالة نصف مضفوفة .

أما الأشعة النخاعية فلا يمكن إدراك تركيبها إدراكاً تاماً إلا بدراسة قطاعات مستعرضة وطولية قطرية وطولية محيطية فى مختلف أنواع السيقان المغلظة ، فخلايا الأشعة تبدو فى القطاع المستعرض كبيرة الشبه ببارنشيمة الخشب ، فيما عدا اتجاه محورها الطويل قطرياً بدل أن يتجه رأسياً ، كما أن جدرها أرق قليلا من جدر بارنشيمة الخشب ، ويختلف اتساع الأشعة اختلافاً كبيراً ، ولكن الأشعة الوعائية ضيقة عادة ، لا يكاد يزيد اتساعها على خلية واحدة (شكل ١١٩) . وفى معظم الأشجار الخشبية تكون الأشعة النخاعية ضيقة هى الأخرى ، وقد لا تزيد على الأشعة الوعائية فى الاتساع بينما هى شديدة الاتساع فى النباتات العشبية ، ويمثل كل شعاع صفيحة من الخلايا تمتد رأسياً فى اتجاه الجهاز الوعائى . ويمكن معرفة امتدادها الرأسى بفحص قطاع طولى محيطى ، وملاحظة أن الأشعة الوعائية تمتد رأسياً لمسافة محدودة ، لا تتجاوز العشر إلى إثنتى عشرة خلية . أما الأشعة النخاعية فتمتد مسافة سلامى كاملة أو أكثر .

وتمثل بارنشيمة الخشب والأشعة البارنشيمية الأجزاء الحية من الخشب الثانوى ، فالأسطوانة الحية — المكونة من القشرة واللحاء — تتصل بصفائح حية تتجه إلى الداخل ،ا وهى الأشعة البارنشيمية ، ولا يصل إلى النخاع من بين هذه الصفائح إلا الأشعة النخاعية وحدها ، وهناك تلتحم بالغلاف

النخاعى (Medullary sheath) المحيط بحزم الخشب الابتدائى ، وهو مكون من خلايا بارنشيمية حية . والأشعة الوعائية هى الأخرى ليست معزولة عن بقية الأنسجة الحية ، حتى فى مرورها داخل منطقة الخشب الميت . ذلك لأنها تتصل رأسياً وأفقياً بمجموعات من خلايا بارنشيمة الخشب . ويؤدى هذا الجهاز الحى الذى يتخلل الخشب الميت وظيفتين هامتين : الأولى توصيل المواد الغذائية المجهزة إلى منطقة الكامبيوم والخلايا الحية فى الخشب والغلاف النخاعى ، والثانية اختزان المواد الغذائية كالنشا فى بعض أوقات العام ، هذا النشا المدخر يستنفد أثناء إنبات البراعم فى الربيع التالى ، حيث يتحول إلى سكر ينتقل مع الماء الصاعد فى أوعية الخشب إلى منطقة النمو . أما تهوية الأنسجة الثانوية فتقوم بها الفراغات البينية الضيقة الموجودة بالأنسجة الحية .

اللحاء الثانوى :

يتكون اللحاء الثانوى من نفس العناصر التى يتكون منها اللحاء الابتدائى أى من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وبارنشيمة لحاء ، والخلايا المرافقة أكبر عادة فى اللحاء الثانوى منها فى اللحاء الابتدائى ، كما أن اللحاء الثانوى يحتوى أيضاً — بالإضافة إلى العناصر المتقدمة — على ألياف لحائية . وكثيراً ما تكون الحواجز الغربالية مائلة أو مركبة — أى مكونة من عدة صفائح غربالية مركبة — كما فى العنب ، إلا أنها فى أكثر الأحيان تكون بسيطة وأفقية ، أى لا تحتوى سوى مساحة غربالية واحدة مثقبة . وهناك حالات تتكون فيها الخلايا البارنشيمية والأنابيب الغربالية (بخلاياها المرافقة) فى تتابع منتظم ، يؤدى إلى تميز طبقات محيطية متبادلة من هذين النوعين من العناصر . كذلك كثيراً ما تنتظم ألياف اللحاء هى الأخرى فى طبقات محيطية متبادلة مع طبقات العناصر اللحائية الحية ذات الجدر الرقيقة ، ويلاحظ ذلك بوضوح فى ساق الزيزفون المسنة (شكل ١٢٠) . وهناك مجموعات رأسية من خلايا بارنشيمة اللحاء ، بها بللورات من أكسالات

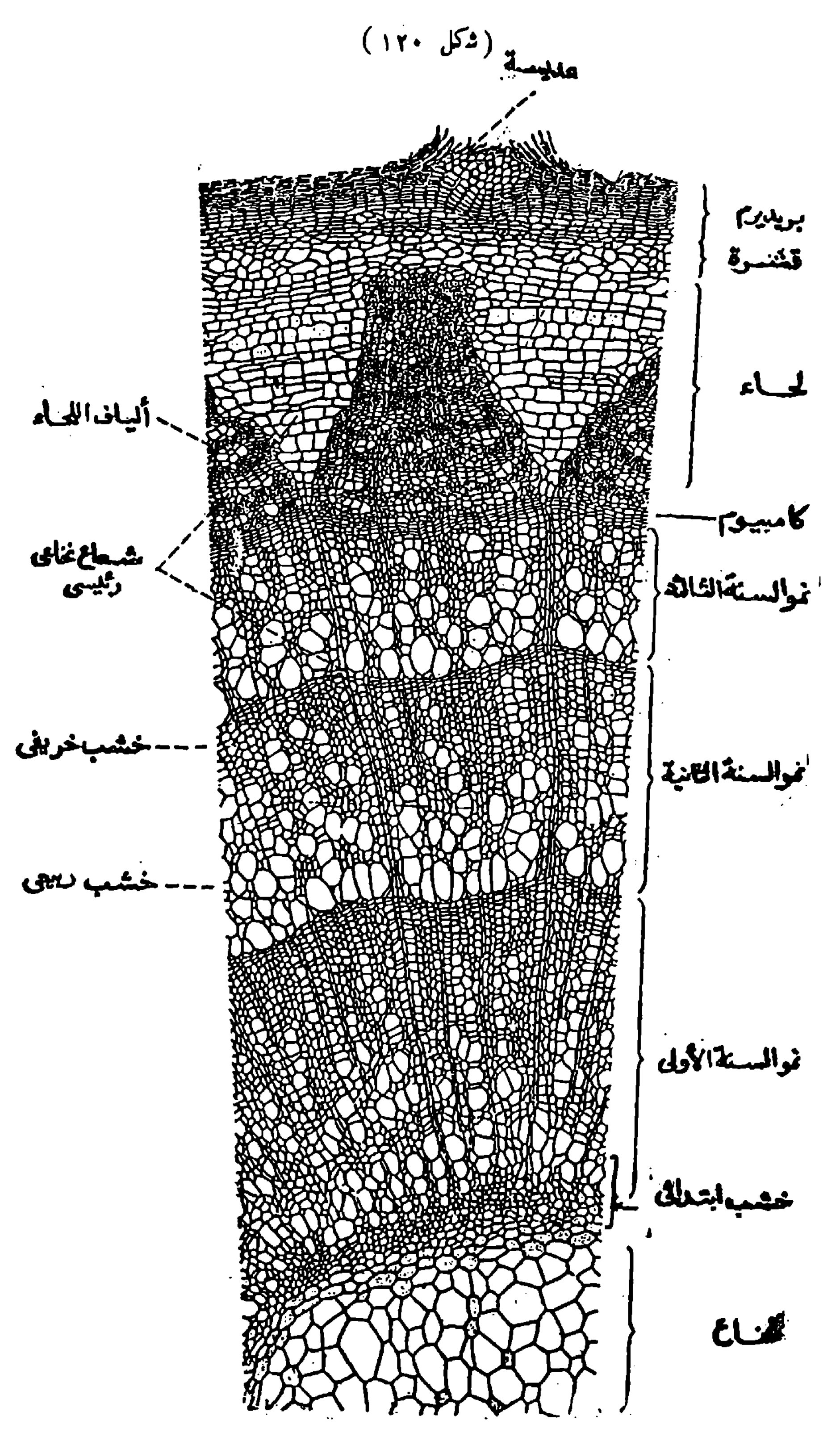
كالسيوم ، وكذلك عناصر إفرازية مستطيلة ، منتشرة فى اللحاء الثانوى كثير من النباتات . وكثيراً ما يسقط اللحاء الثانوى القديم الذى توقف عن داء وظيفته مع القلف .

وتتصل الأشعة النخاعية فى اللحاء الثانوى بأشعة الخشب الثانوى (شكل ١٢٠ (ويكون لها نفس التركيب ، إلا أن خلاياها تظل رقيقة الجدر ، وفى عض النباتات الزهرية - كنبات الزيزفون (شكل ١٢٠) - تتسع الأطراف الخارجية للأشعة النخاعية وتتخذ شكل فوهة القمع ، وبذلك تقسم اللحاء لثانوى إلى قطع هودجية الشكل ، مثلثة فى القطاع المستعرض .

الحلقات السنوية :

يتكون الجانب الأكبر من الخشب الثانوى - الذى يضاف كل عام - من أوعية وألياف . وتختلف نسبة الألياف التى تتكون فى الفصول المختلفة . فالخشب الذى يتكون فى الربيع - وهو المعروف بالخشب الربيعى (Spring wood) - يحتوى نسبة من الأوعية أعلى من نسبة الألياف ، وأعلى أيضاً من نسبة الأوعية فى الخشب الخريفى (Autumn wood) الذى يتكون فى الخريف ، كما أن أوعية ذلك الخشب الربيعى وأليافه أوسع وجدرها أرق من أوعية الخشب الخريفى وأليافه . وهذا الفرق بين الخشب الربيعى والخريفى أكثر وضوحاً فى النباتات متساقطة الأوراق منه فى النباتات دائمة الاخضرار ، ويعزى ذلك إلى ازدياد حاجة النبات إلى الماء فى الربيع بسبب تفتح البراعم وتكون أوراق جديدة ذات سطح ناتح كبير . أما فى الخريف فإن الأشجار تسقط أوراقها فيقل احتياجها إلى الماء ، بينما تزداد حاجتها إلى التدعيم الميكانيكى ولهذا تتكون فى ذلك الفصل أوعية ضيقة مع نسبة أكبر من الألياف ذات التجاويف الضيقة والجدر السميكة الملجننة . وهناك فى العادة حد فاصل واضح المعالم بين الخشب الخريفى الكثيف - ذى العناصر الصغيرة والمتكون فى سنة ما - والخشب الربيعى ذى العناصر الواسعة والمتكون فى السنة التالية . ويؤدى

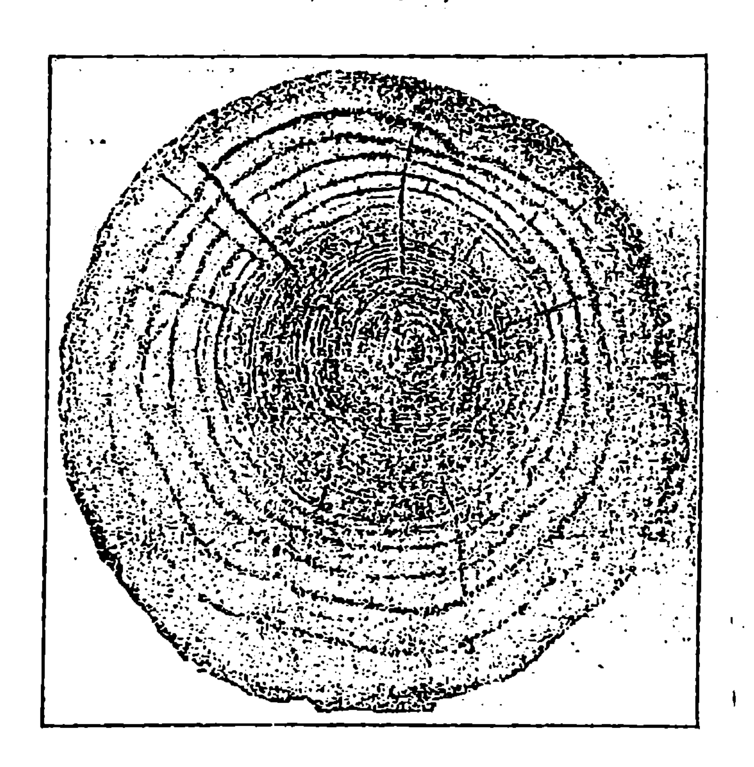
(شكل ١٢٠)



قطاع مستعرض في ساق الزيزفون يبين الحلقات السنوية (عن ه . ه نزوريكت) .

هذا التحديد إلى تميز عدة حلقات سنوية (Annual rings) متعاقبة فى الخشب الثانوى للسيقان المسنة (شكلا ١٢٠ و ١٢١) ، يمكن بوساطتها تقدير عمر هذه السيقان على وجه التقريب ، إذ أن كل حلقة تمثل عادة الخشب المتكون فى عام كامل .

(شكل ١٢١)



قطاع مستعرض فى كتلة خشبية تبين الحلقات السنوية والخشب الرخو (الخارجى) والخشب الصميمى (الداخلى) .

بيد أنه يحدث أحياناً — عندما يبرد الجو كثيراً أو تهب عواصف باردة فى فصل الربيع — أن تتساقط أوراق الأشجار ، فيقل بذلك احتياج النبات للماء ، ويقف تكوين عناصر الخشب الربيعى الواسعة ، لتتكون بدلا منها عناصر ميكانيكية ضيقة من عناصر الخشب الخريفى ، ثم لا تلبث أن تتكون أوراق وبراعم جديدة عندما ينتهى البرد والعواصف العارضة ، لتحل محل الأوراق التى قتلها البرد أو أسقطها ، وبذلك تتكون حلقتان فى سنة واحدة ، ولا يكون

عدد الحلقات فى هذه الحالة معبراً عن عمر النبات . ويحدث مثل ذلك أيضاً عندما تجتاح الأوراق والبراعم النامية فى أوائل الربيع آفات حشرية تستمر بعض الوقت ثم تزول ، لتتكون من بعدها أوراق وبراعم جديدة .

ومما هو جدير بالملاحظة أن الحلقات السنوية تتكون فى السيقان دون الجذور ، ويفسر ذلك بأن الأولى أكثر من الثانية تعرضاً للتقلبات الجوية . كذلك تشاهد الحلقات السنوية فى الخشب دون اللحاء . ويتوقف اتساع الحلقات السنوية على التغذية المتاحة للنبات ، فكلما زاد حظه من الغذاء اتسعت حلقاته .

الخشب الصميمى والخشب الرخو :

من أهم الأسباب الداعية إلى استمرار السيقان المسنة فى انتاج خشب جديد عاماً بعد عام ، أن الجزء المركزى من الأسطوانة الخشبية - وهو الذى يحتوى أقدم العناصر - تطرأ عليه تغيرات تؤدى إلى توقف عناصره عن أداء وظيفة التوصيل ، ولو أنها تزيد فى قيمته التدعيمية . ويسمى هذا الجزء المركزى بالخشب الصميمى (Heart wood) ، لتميزه عن الجزء الخارجى الحديث الذى يؤدى وظيفة التوصيل ، ويعرف بالخشب الرخو أو العصرى (Sap wood) كما هو مبين فى (شكل ١٢١) .

وتمتلىء عناصر الخشب الصميمى عادة بمواد مختلفة داكنة اللون ، كالراتنج والدباغيات ، تسبب دكنة فى لون ذلك الخشب ، تميزه عن الخشب الرخو الباهت . وترسب تلك المواد ذات اللون الداكن فى الخشب الصميمى لأشجار الماهوجونى والجوز والأبنوس وما إليها يرفع من قيمة هذه الأخشاب . ويجعلها أكثر صلاحية للأغراض الصناعية لما تضفيه عليها من متانة وقوة احتمال ، كما أن لونها الداكن يزيد من قابليتها للتلميع والاصطباغ وفى الأبنوس يظهر الخشب الرخو الموصل أبيض اللون ، والخشب الصميمى الذى يستعمل فى الصناعة أسود لامعاً ثقيلا .

والمواد التى تتخلل الخشب الصميمى هى فى الغالب مواد مقاومة للآفات ، ولذلك لا يتأثر هذا الخشب بالفطريات ولا بالحشرات والبكتريا . فكأنما يزيد ترسب تلك المواد الخشب متانة ومقاومة . وتعزى أفضلية خشب التيك (Tecoma grandii) — وهو من نباتات المناطق الحارة — فى صناعة الأثاث إلى احتوائه نوعاً من الزيوت يحصنه ضد الحشرات الثاقبة ، كما يعطيه تلك الرائحة الخاصة المميزة . كذلك يعزى تجوف جذوع الصفصاف فى طور مبكر إلى خلو خشبها من المواد المقاومة للآفات .

وتنغلق غالباً تجاويف العناصر التوصيلية فى الخشب الصميمى بطرق شتى أهمها نمو أجزاء مثانية الشكل تنفذ من خلال النقر التى بجدر تلك العناصر وتمتد إلى داخل تجويفها . وتعرف هذه الأجزاء بالتيلوزات (Tyloses) . وهى تخرج من بارنشيمة الخشب لتدخل الأوعية (شكل ١٢٧) . وتظهر بداخلها فى شكل خلايا بارنشيمة كاذبة (Pseudoparenchyma) . تملأ قنواتها ملئاً تاماً ، وتحدها من الخارج أغشية النقر ذات الجدر الرقيقة ، التى تنمو وتتمدد وأحياناً تتغلظ وتتلجنن .

والتيلوزات تركيبات حية ، تحتوى سيتوبلازما وعصيراً خلوياً ، ونواة أيضاً فى بعض الأحيان . وعندما تبلغ التيلوزات أقصى حجمها تموت هى وبارنشيمة الخشب الصميمى ، وبذلك يصبح الأخير مكوناً جميعه من عناصر ميتة .

وتتكون التيلوزات أيضاً فى السيقان العشبية - كساق القرع - ولكن وظيفتها فى تلك السيقان غير واضحة .

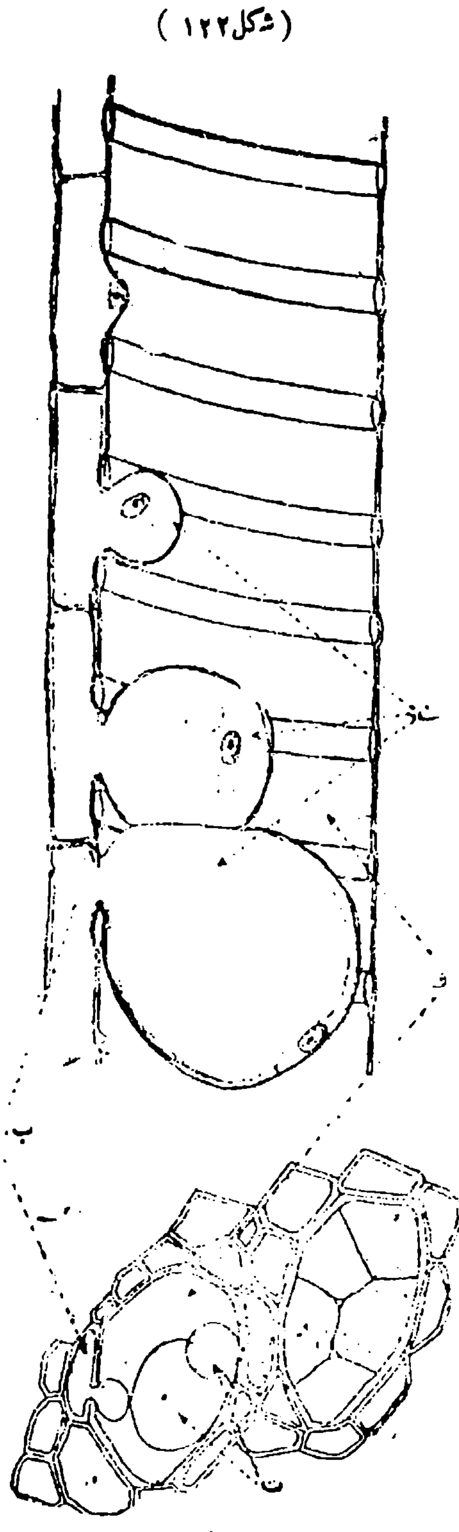
ولا يحدث انغلاق الأوعية دائماً بتكوين التيلوزات ، بل تترسب أحياناً مواد معدنية مختلفة داخل الأوعية ، تؤدى إلى انسدادها .

وفى الكتل الخشبية التى تمثل جذوع الأشجار وفروعها الكبيرة تختفى معالم الحلقات السنوية غالباً . أو يقل وضوحها فى الخشب الصميمى الداكن بينما تظل واضحة فى الخشب الرخو .

عقد الخشب (Timber knots) :

يتكون عادة قدر من الخشب الثانوى فى السيقان الرئيسية أكثر مما يتكون فى الفروع الجانبية ، ولذلك فباستمرار الزيادة فى سمك المحور الرئيسى للساق ينغمس الجزء القاعدى للفرع فى الخشب الثانوى الذى يضاف بسرعة وغزارة إلى الساق الرئيسية ، ويصبح مطموراً داخله . كذلك إذا بقى فرع ميت على شجـــرة حية وقتاً طويلا فإن قاعدته تكون مخروطاً من الأنسجة الميتة داخل الخشب الثانوى للساق. فإذا قطعت قطاعات طولية محيطية فى مثل هذه الساق فإن القطع يمر عرضياً فى المخروط المطمور الذى يظهر فى القطاع على شكل عقدة (Knot) داخل الخشب الثانوى للساق الرئيسية . وتكون هذه العقد إما سائبة أو وثيقة الاتصال بالخشب الثانوى المحيط بها ، ويتوقف ذلك على ما إذا كانت الفروع الجانبية حية أم ميتة وقت الانطمار .

(شكل ١٢٢)



قطاع طولى وبأسفله قطاع مستعرض يبينان طريقة تكوين التيلوزات من الخلايا البارنشيمية المحيطة بالوعاء الخشبى : (ب. خ) بارنشيمة خشب ، (ت) تيلوز ، (و) وعاء خشبى (عن هولمان) .

(التغلظ الثانوى فى الجذر)

يحدث التغلظ الثانوى عادة فى الجذور الوتدية لذوات الفلقتين وعاريات البذور ، وفى الفروع الرئيسية لهذه الجذور . أما فى ذوات الفلقة الواحدة فأنسجة الجذور تكون غالباً ابتدائية ، والتغلظ الثانوى فيها نادر .

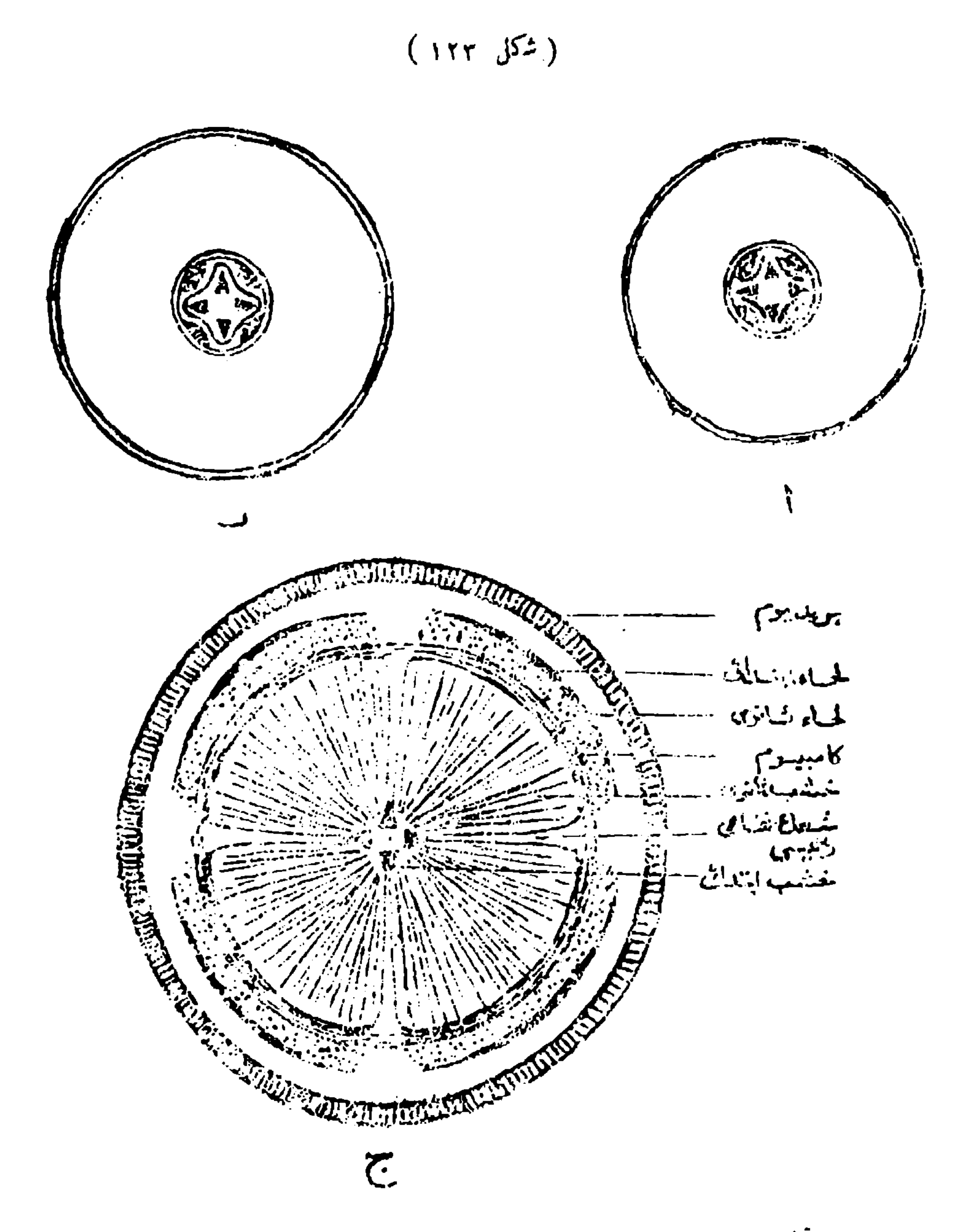
وتوجد عادة بالجذور الحديثة طبقتان أو ثلاث طبقات من خلايا بارنشيمية تفصل كل مجموعة من مجموعات اللحاء الابتدائى عن الذراع الخشبى الذى يجاورها من كل ناحية . وقبيل التغلظ الثانوى تنشأ فى هذه الخلايا جدر انقسام محيطية ، تحصر بينها طبقة كامبيوم يشبه كامبيوم الساق ، ويؤدى ذلك إلى تكون عدد من الأشرطة الكامبيومية مساو لعدد مجاميع اللحاء أو أذرع الخشب وينتج عن نشاط هذه الأشرطة تكوين خشب ثانوى إلى الداخل ولحاء ثانوى إلى الخارج .

ويبدأ تكشف الكامبيوم فى الخلايا الملاصقة للجانب الداخلى من اللحاء ، ثم يمتد من هناك تدريجياً إلى الخارج على جانبى الأذرع الخشبية وبمحاذاتها ، إلى أن يصل إلى الطبقة المحيطية الواقعة مقابل الخشب الأول مباشرة (شكل ١٢٣ : أ) ، إذ ذاك تتكون جدر انقسام محيطية فى تلك الخلايا ، وتصبح طبقة الكامبيوم حلقة مقفلة ولكنها متموجة (شكل ١٢٣ : ب) .

ولما كان نشاط الكامبيوم يبدأ أكثر تبكيراً فى أجزائه التى تكونت أولا منه فى الأجزاء المتأخرة – الواقعة مقابل الخشب الأول أو بالقرب منه – فإن التغلظ الثانوى يكون فى أول الأمر أكثر نشاطاً بجوار الأجزاء الداخلية من الخشب واللحاء الابتدائيين منه بجوار الأجزاء الخارجية . ونتيجة لذلك يصبح الكامبيوم دائرياً بعد أن كان متموجاً .

وبعد أن يستمر التغلظ الثانوى فترة من الزمن تتكون أسطوانتان واسعتان من الخشب واللحاء الثانويين (شكل ١٢٣ : ج) شبيهتان بنظيرتيهما فى الساق المغلظة ، وتخترقها – كما فى الساق – أشعة نخاعية وأخرى وعائية ، والأولى

(شكل ١٢٣)

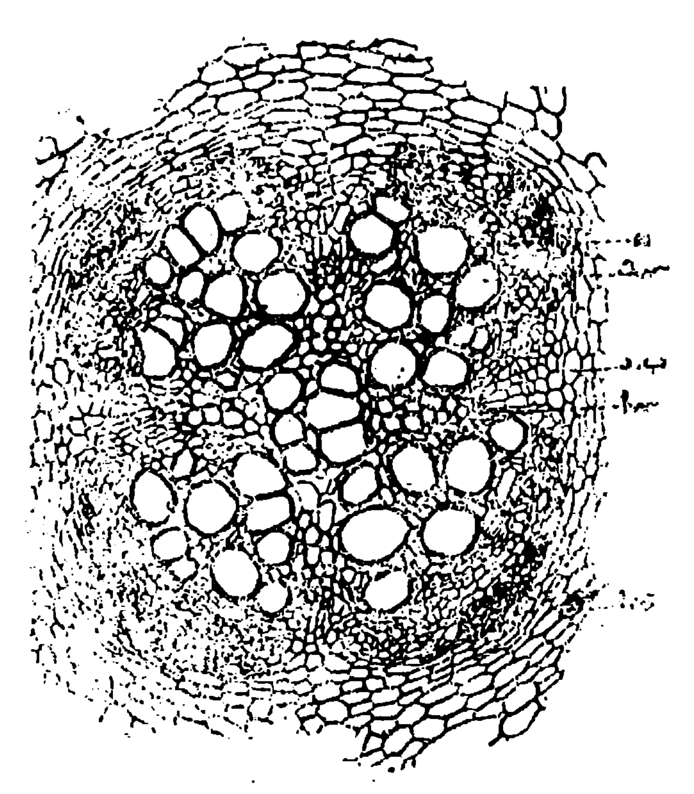


رسوم تخطيطية لقطاعات مستعرضة فى جذر نبات من ذوات الفلقتين (ا - ج) على مسافات متعاقبة من طرفه ، تشاهد بها الخطوات التدريجية فى التغلظ الثانوى للجذر .

أوسع كثيراً من الثانية (شكل ١٢٤) وخاصة فى جذور النباتات العشبية . وهى تصل ما بين القشرة والنخاع ، وتمتد فى اتجاه قطرى على استقامة الأذرع الخشبية وتساويها فى العدد . وعندما تكون هذه الأشعة شديدة الاتساع — ومكونة من خلايا بارنشيمية فقط — فإنها تقسم الأنسجة الوعائية الثانوية إلى عدد من الأجزاء المنفصلة المتميزة (شكل ١٢٤) كما فى جذور الفول

والقرع . وتتسع الأشعة النخاعية كثيراً فى منطقة اللحاء ، حيث تتخذ شكل هودج مقلوب ، رأسه إلى الداخل . أما الأشعة الوعائية فأضيق كثيراً من الأشعة النخاعية ، وتنتهى داخل الخشب واللحاء الثانويين .

(شكل ١٢٤)



قطاع للنعرض فى جذر مسن يبين التغلظ الثانوى : (ك) كامبيوم ، [illegible] ، (ب.د) بشرة داخلية ، (خ.ا) خشب ابتدائى ، (ل.ا) لحاء ابتدائى [illegible]

ولا يختلف كثيراً التركيب العام للخشب واللحاء الثانويين فى الجذر عن تركيبهما فى الساق ، ويؤدى تكوين الأنسجة الثانوية - كما فى الساق - إلى دفع الأنسجة الابتدائية بعيداً عن الكامبيوم .

ويمكن التمييز بين الجذور والسيقان المغلظة تغليظاً ثانوياً بتتبع مسار الأشعة النخاعية عند نهاياتها الداخلية ، فإذا أمكن مشاهدة ترتيب الخشب الأول فى هذه الحزم نحو الخارج والخشب التالى نحو الداخل . كان ذلك دليلا على أن العضو جذر لا ساق .

وتختزن المواد الغذائية فى الجذور المتشحمة عادة فى خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر . تتكون بوفرة فى الخشب واللحاء الثانويين على السواء . وتكون الأوعية مجموعات متفرقة . إما مبعثرة أو مرتبة فى صفوف قطرية .

(التغلظ الثانوى فى ذوات الفلقة الواحدة)

التغلظ الثانوى لا وجود له فى ذوات الفلقة الواحدة بوجه عام ، إذ أن الأنسجة الوعائية فى هذه النباتات مهما تقدم بها السن هى أنسجة ابتدائية فحسب . ويتميز النسيج الإنشائى الأولى فى قمة الساق إلى نسيج إنشائى أساسى تخترقه حزم كامبيومية أولية متناثرة فى جميع أجزائه ، لا تلبث أن تتحول جميعها إلى حزم وعائية مستديمة ذات خشب ولحاء فقط . وتستمر استطالة السلاميات حتى بعد أن تصل الساق إلى سمك كبير . وبعد أن تنتهى الاستطالة يظل هناك مجال لزيادة محدودة فى السمك عن طريق كبر الخلايا البارنشيمية للنسيج الأساسى وانقسامها مرة أخرى . بيد أنه يحدث تغلظ ثانوى حقيقى فى قلة من نباتات ذوات الفلقة الواحدة — بين عشبية وخشبية — وخاصة بين أفراد الفصيلة الزنبقية كالصبار **(Aloe)** والدراسينا **(Dracaena)** .

ويلاحظ فى الساق الحديثة لنبات الدراسينا ذلك التوزيع المتناثر للحزم الوعائية الابتدائية داخل النسيج الأساسى الذى تتميز به ذوات الفلقة الواحدة عامة على أن المنطقة الخارجية من النسيج الأساسى لهذا النبات تتميز إلى قشرة من خلايا بارنشيمية ، أما الجزء الداخلى فتنتشر فيه الحزم الوعائية الابتدائية .

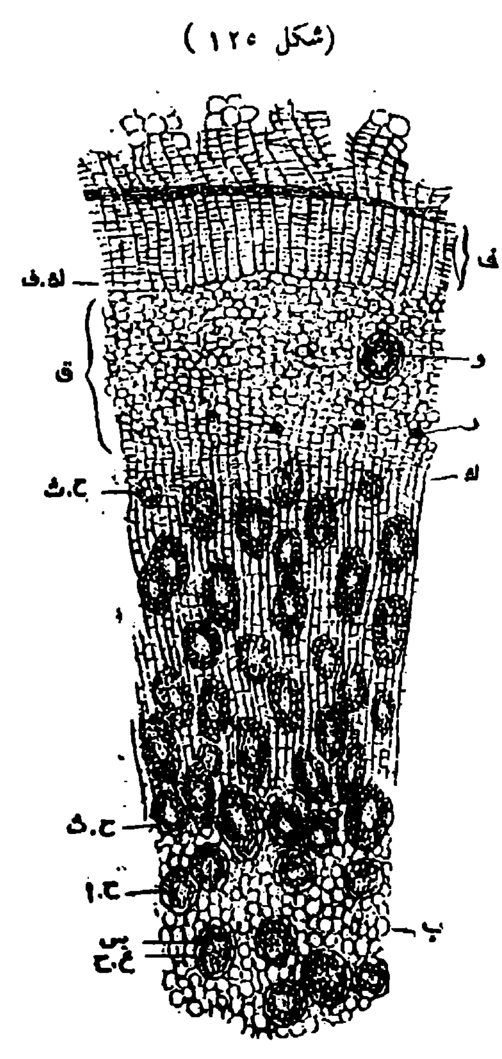
وعندما يبدأ التغلظ الثانوى ، تتكون حلقة كامبيومية ثانوية فى خلايا الطبقة الداخلية من القشرة ، وهى الطبقة المحيطة بالمنطقة الوعائية مباشرة. ويحدث التغلظ الثانوى نتيجة لنشاط هـذا النسيـج الإنشائى الثانوى وهو الكامبيوم (شكل ١٢٥) .

وفى بعض أنواع النباتات يبدأ تميز هذا الكامبيوم قريباً جداً من القمة النامية ، أى فى طور مبكر . وفى نباتات أخرى — ومن بينها الدراسينا —

يتأخر تكوينه ، فلا يظهر إلا على مسافة كبيرة نسبيــاً من طرف الساق ، حيث تكون جميع الأنسجة الابتدائية قد تم تميزها .

ولا يؤدى نشاط الكامبيوم فى الدراسينا وأمثالها إلى تكوين خشب ثانوى إلى الداخل ولحاء ثانوى إلى الخارج — كما فى ذوات الفلقتين — بل يؤدى ذلك إلى تكوين حزم وعائية منفصلة إلى الداخل ، تعرف بالحزم الوعائية الثانوية (Secondary vascular bundles) بينها خــلايا بارنشيمية ، وإلى تكوين خلايا بارنشيمية فقط إلى الخارج. والخلايا التى تتكون خارجه تؤدى إلى بعض الازدياد فى سمك القشرة، وتمثل قشرة ثانوية ؛ لا تختلف عن القشرة الابتدائية إلا من حيث انتظام خلاياها فى صفوف قطرية واضحة ، كل صف منها ناشئ عن نشاط إحدى خلايا الكامبيوم .

(شكل ١٢٥)



قطاع مستعرض فى ساق نبات الدراسينا يبين من الخارج للداخل : (ف) فلين ، (ك ف) كامبيوم فليني ، (ق) القشرة ، (و) مسار الورقة ، (ر) حزم بللورات إبرية ، (ك) كامبيوم ، (ح.ث) حزم وعائية ثانوية ، (ح.ا) حزم وعائية ابتدائية ، (ب) نسيج بارنشيمي ، (س) قصيبات ، (غ ح) غلاف الحزمة (عن ستراسبرجر).

كذلك تتميز الحــزم الوعائية الثانوية — وما بينها من خلايا بارنشيمية — بانتظامها هى الأخــرى فى صفوف قطرية ، كل صف له أصل واحد من خلايا الكامبيوم ، أما الحزم الابتدائية فبعثرة بغير انتظام .

والحزم الثانوية بيضية الشكل مع استطالة قليلة فى الاتجاه القطرى ، بعكس الحزم الابتدائية المستديرة . والحزم هنا مركزية (Concentric) ، يتركب كل منها من لحاء قليل فى المركز وخشب كثير يحيط به (شكل ١٢٥) . ولا توجد بالخشب أوعية ، بل يتكون كله من قصيبات ليفية ترافقها خلايا بارنشيمية قليلة ملجننة ، كذلك تتغلظ وتتلجنن جدر الخلايا البارنشيمية التى تفصل الحزم ، وبذلك تصبح الأسطوانة الواقعة داخل حلقة الكامبيوم قوية صلدة .

وفى النباتات التى يحدث بسيقانها تغلظ ثانوى ، على هذا النحو الذى وصفناه فى الدراسينا ، تتغلظ جذورها أيضاً بنفس الطريقة .

أما التغلظ الذى يحدث فى قواعد سيقان بعض النجيليات ، فليس ناشئاً عن أى نشاط كامبيومى ، ولكن عن ازدياد تدريجى فى حجم الخلايا وحجم الفراغات البينية . وقد يصحب الازدياد فى الحجم أحياناً انقسام فى الخلايا البارنشيمية يؤدى إلى تكاثر عددها .

(الفلين)

من أهم نتائج التغلظ الثانوى فى الجذور والسيقان اتساع المحيط اتساعاً شديداً ، يترتب عليه تعرض الأنسجة الخارجية لشد وتوتر متزايدين . ولما كانت قابلية هذه الأنسجة الخارجية — وهى البشرة والقشرة — للشد والتوتر محدودة فإنها تتمزق عندما تبلغ أقصى حدود توترها ، وبذلك لا تعود البشرة صالحة لأداء وظيفتها كنسيج ضام ، يغطى ما بداخله من أنسجة ويقيها من أضرار العوامل الخارجية . ولهذا يتكون نسيج ثانوى ضام — هو النسيج الفلينى (Cork tissue)) — ليحل محل البشرة والأجزاء الخارجية من القشرة الممزقة ، ويقوم بدلا منها بوظيفة الوقاية والتغليف . ويتكون الفلين نتيجة لنشاط كامبيوم ثانوى يعرف بالكامبيوم الفلينى (Phellogen or cork cambium) ، وهو نسيج خارجى الأصل فى السيقان ، إذ ينشأ فى معظم النباتات بالطبقة الخارجية من القشرة ، وهى

الطبقة التي تقع مباشرة تحت البشرة . وقد ينشأ فى طبقة البشرة نفسها فى قليل من النباتات (شكل ١٢٦ : ا ، ب) كنباتى الدفلة والصفصاف وكثير من نباتات الفصيلة الوردية ، كالورد والتفاح وغيرهما . ويندر أن يتكون فى الطبقات الوسطى أو الداخلية من القشرة ، كما يحدث فى نبات البربرى (Berberis) . أما فى الجذور فالكامبيوم الفلينى داخلى الأصل غالباً ، إذ يتكون بالطبقة المحيطية فى معظم النباتات ، وقد يتكون أحياناً فى إحدى طبقات القشرة المجاورة للطبقة المحيطية .

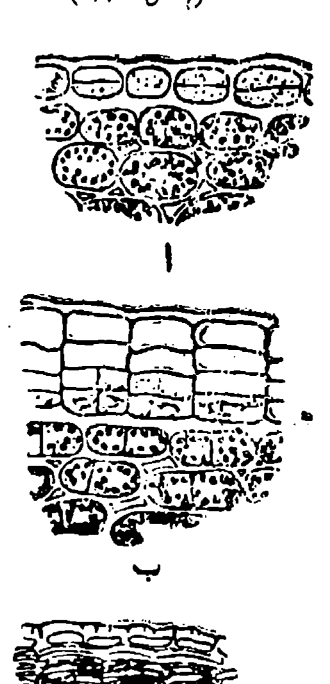
وطريقة تكوين الكامبيوم الفلينى متشابهة فى الساق والجذر : فهو ينشأ من تكوين جدارين محيطيين على التعاقب فى الخلايا المستديمة ، يحصران بينهما خلية إنشائية . وبتكوين هذه الطبقة الإنشائية تنقسم الخلية المستديمة إلى ثلاث خلايا ، أوسطها خلية الكامبيوم الفلينى ؛ وتمثل الخارجية أولى طبقات الفلين (Cork) والداخلية أولى طبقات القشرة الثانوية (Phelloderm) ، وهى غالباً الطبقة الوحيدة فى هذا النسيج . وخلايا القشرة الثانوية حية تحتفظ بجميع محتوياتها الحية ، وتشبه خلايا القشرة الابتدائية . ولا تنقسم الخليتان الخارجية والداخلية قط بعد تكونهما بل تتحولان إلى خلايا مستديمة ، أما الخلية الوسطى فتنقسم المرة تلو المرة بجدر محيطية ، ثم تتحول إحدى الخليتين الناشئتين من كل انقسام — وهى الخلية الخارجية — إلى خلية فلين ، بينما تظل الأخرى إنشائية ، وتمثل الكامبيوم الفلينى . وفى معظم الحالات تؤدى الانقسامات المتتالية فى خلايا الكامبيوم الفلينى إلى اقتطاع خلايا مستديمة فى الناحية الخارجية فقط — هى خلايا الفلين — بينما لا يتكون من طبقات القشرة الثانوية إلا الطبقة الأولى وحدها (شكل ١٢٦ : ج) .

ويؤدى نشاط الكامبيوم الفلينى إلى تكوين نسيج متصل من صفوف قطرية من الخلايا ، كل صف منها هو نتاج خلية من خلايا ذلك الكامبيوم (شكل ١٢٦ : ب ، ج) ، ويعرف ذلك النسيج بالفلين ، ويتميز بخلوه من الفراغات البينية ، وبتغير مادة جدره الخلوية تغيراً كيمائياً يعرف بالتسوبر

(Suberization) ، ويقال للجدار فى هذه الحالة إنها مسوبرة (Suberized) . أى مكونة من مادة السوبرين ؛ وهى مادة غير منفذة للسوائل والغازات ، وإلى هذه الخاصة تعزى فائدة استعمال الفلين كسدادات للقوارير .

ومن نتائج التسوبر أن تصبح جدر خلايا الفلين غير نفاذة ، فينقطع ورود الماء والأغذية إليها فتموت وتفقد محتوياتها الحية ؛ ولذلك فإن الفلين يصبح نسيجاً ميتاً عند اكتمال تكوينه. ويعزى التسوبر إلى ترسيب طبقة من مركبات دهنية على السطح الداخلى للجدار ، ولذلك فإن خلايا الفلين تقبل الاصطباغ بنفس الأصباغ أى تؤثر على الدهون .

(شكل ١٣٠)



خطوات متتالية فى تكوين الفلين :
(ا) تكون أول جدار محيطى لطبقة الكامبيوم الفلينى داخل خلايا البشرة بساق إحدى النباتات ، (ب) تكون عدة طبقات من الفلين خارج الكامبيوم الفلينى ، (ج) البريديرم ويرى به الكامبيوم الفلينى (ك) وبخارجه عدة طبقات من الفلين مرتبة فى صفوف منتظمة (عن إيمز وماك دانيلز) .

ويعرف الكامبيوم الفلينى — وما ينتج عنه من فلين وقشرة ثانوية — بالبريديرم (Periderm) ؛ أى البشرة المحيطية .

وخلايا الفلين مفلطحة ومنضغطة عادة ، ومرتبة فى صفوف قطرية منتظمة ، وجدرها رقيقة ، وكثيراً ما تتموج الجدر القطرية وتنثنى ، بينما تظل الجدر المحيطية مشدودة ومستقيمة ، ويعزى ذلك إلى الشد الواقع على هذا النسيج — خارجى الموقع — فى الاتجاه المحيطى بسبب التغلظ الثانوى المستمر ، وما يصحبه من ضغط فى الاتجاه القطرى .

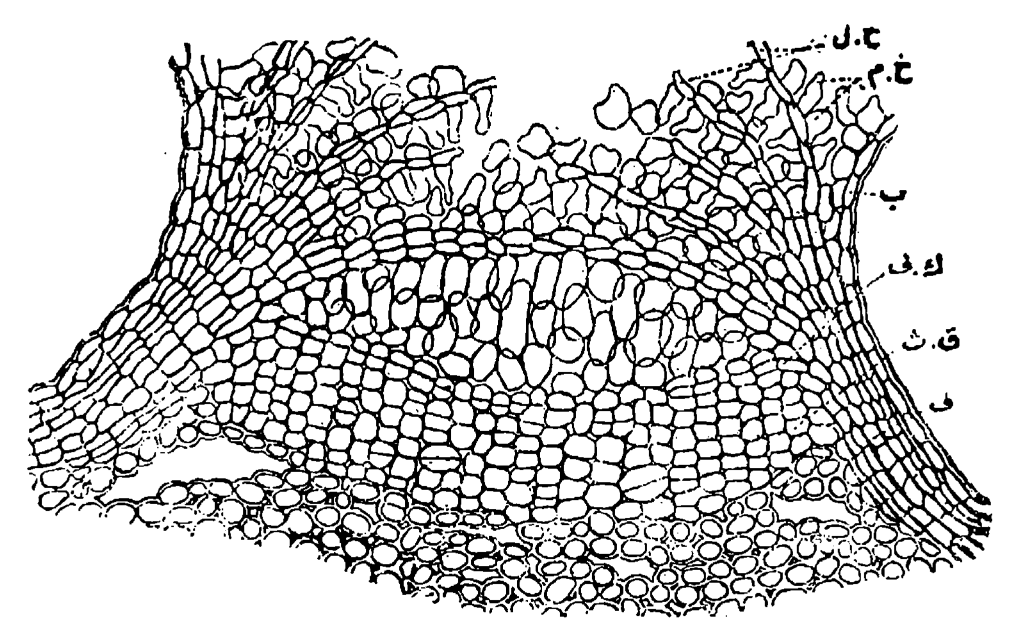
وهناك حالات قليلة ينتج فيها الكامبيوم صفوفاً من خلايا القشرة الثانوية إلى الداخل ، تكون نسيجاً واسعاً متميزاً من خلايا حية تزيد فى سمك القشرة الابتدائية ، وتتغلظ خلايا هذه القشرة الثانوية أحيانا لتؤدى وظيفة تدعيمية .

ولا تقتصر أهمية الفلين على حماية النبات من النتح الشديد المترتب على تمزق البشرة وتعرى الأنسجة الداخلية نتيجة للتغلظ الثانوى ، بل تتجاوز ذلك إلى وظائف وقائية أخرى . فالخلايا المسوبرة تكون على جانب كبير من القوة — ولو أنها قلية المرونة — ولذلك فإن الفلين يكون غلافاً مقويا للأعضاء النباتية . ويزيد من كفايته لأداء هذه الوظيفة الميكانيكية الاتصال المحكم وانعدام الفراغات الهوائية بين خلاياه . كما أن وجود طبقة الفلين عندسطح الساق يعمل على حفظ درجة حرارة الأنسجة الداخلية ثابتة . فهو يحول دون الارتفاع الشديد فى درجة حرارة تلك الأنسجة أثناء النهار وانخفاضها الشديد أثناء الليل . وبالإضافة إلى كل ذلك فإن التانين — وغيره من المواد التى تترسب عادة داخل خلايا الفلين — هى مواد مقاومة للآفات ، تمنع دخول الطفيليات المختلفة إلى الأنسجة الحية التى تليها من الداخل .

(العديسات)

عند مايبدأ تكوين الفلين فى عضو ما يصبح ذلك العضو مغلفاً بطبقة واقية غير منفذة للهواء ، تمنع الاتصال المباشر بين الجو والأنسجة الداخلية . ولما كان هذا الاتصال ضروريا لاستمرار قيام الأنسجة الداخلية الحية بالوظائف الحيوية التى تنطوى على تبادل الغازات ، فإن الغلاف الفلينى فى السيقان المسنة تتخلله فتحات تعرف بالعديسات (Lenticels) كما فى (شكل ١٢٧) ، وظيفتها توصيل الهواء الجوى إلى الأنسجة الداخلية . وتقابل العديسات الثغور فى السيقان الحديثة ، وتحل محلها وتؤدى وظائفها.

(شكل ١٢٧)



قطاع مستعرض فى عديسة على ساق نبات من جنس المشمش (Prunus armeniaca)
يبين : (خ . ل) خلايا مغلقة ، (خ . م) خلايا مفككة ، (ب) بشرة ، (ك . ف) كامبيوم فلينى ، (ق . ث) قشرة ثانوية ، (ف) فلين (عن إيمز وماك دانيلز)

وتنشأ العديسات الأولى عادة تحت الثغور فى السيقان الحديثة التى لم تقطع بعد شوطاً بعيداً فى التغلظ الثانوى ، وذلك بتكوين قطعة من كامبيوم فلينى فى الطبقة التى تحت البشرة ، وينشط هذا الكامبيوم فى الأنقسام بجدر محيطيه ليعطى خلايا إلى الداخل والخارج ، فأما الخلايا الداخلية فتنتظم فى صفوف قطرية من القشرة الثانوية وأما الخلايا الخارجية فتظل رقيقة الجدر غير مسوبرة ، ثم لا تلبث إلا قليلا حتى تستدير وتتفكك وتنفصل انفصالا تاماً عن بعضها البعض ويتكون هذا النسيج المفكك (Loose or complementary tissue) بكميـــات وفيرة ، فيسبب تكونه إنتفاخاً متزايداً وضغطاً على طبقة البشرة يؤديان إلى تمزقها ، وتعرض نسيج العديسة المفكك للهواء الجوى مبـــاشرة ، وبذلك يستطيع الهواء أن يتشرب إلى الداخل. وتختلف درجة تفكك النسيج المفكك فى النباتات المختلفة ، ففى بعض النباتات يكون هذا النسيج شديد التفكك وفراغاته البينية كبيرة

إلى حد يجعل العديسة إسفنجية التركيب ،وفى نباتات أخرى تكون خلاياه أقل استداره وتفككاً ، والفراغات التى بينها أشد ضيقاً ، وبذلك تصبح العديسات أكثر تماسكاً واندماجاً ، كما فى الصفصاف . وبعـد أن يبدأ تكوين الفلين تصبح قطع الكامبيوم الفلينى التى تنتج العديسات متصلة بحلقة الكامبيوم الفلينى العام .

وفى فصل الشتاء ، عندما يبرد الجو ويصبح الهواء البارد ضاراً بأنسجة النبات الحية ، يعطى الكامبيوم الفلينى خلايا فلينية بدلا من النسيج المفكك الذى كان يعطيه من قبل ، وتصطف هذه الخلايا عادة فى طبقة أو طبقات من الفلين تستمر طول الشتاء ، وتعرف بالطبقة المغلقة أو النسيج المغلق (Closing tissue) وبتكوين هـذه الطبقة الفلينية يمتنع اتصال الأنسجة الداخلية بالهواء الجوى ، ثم يعود الكامبيوم إلى تكوين خلايا مفككة من جديد فى الربيع التالى حين يدفأ الجو ، ويضغط هذا النسيج المفكك المتكون بغزارة على الطبقة المغلقة فيمزقها ، وبذلك يعود الاتصال بين الجو والأنسجة الداخلية كما كان ، وتتكرر هذه العملية مرات عديدة فى حيـاة النبات ، وبذلك تصبح العدسة فى الساق المسنة مكونة من أشرطة متعاقبة من الأنسجة المفككة والطبقات المغلقة الممزقة (شكل ١٢٧) ، ويعطى عدد هذه الأشرطة فكرة عن عمر النبات بالتقريب .

(القلف)

عندما يكون الفلين عميقا داخل النشأة . تصبح الأنسجة الحية الواقعة خارجه منقطعة الصلة بموارد الماء والغذاء التى تأتيها من الداخل ، ولذلك لاتلبث أن تموت ، فتجف وتتساقط ، ويتعرض الفلين على السطح مباشرة ، وتسمى هذه الأنسجة الميتة — بما فيها البشرة — بالقلف (Bark) ، وتختلف كمية الأنسجة التى يشملها القلف حسب موقع الكامبيوم الفلينى ، فإذا كان خارجياً شمل طبقة البشرة وحدها ، وإذا كان داخلياً شمل القشرة أيضاً ، كلها أو بعضها .

وفى بعض النباتات — كأشجار الزان (Fagus) وأشجار القان (Betula)— يستمر نشاط الكامبيوم الفلينى الأول طول حياة النبات ، مع التوقف شتاء واستئناف النشاط فى الربيع . وفى هذه الحالة يزداد محيط الكامبيوم باستمرار ليلاحق الازدياد المضطرد فى محيط الساق نتيجة للتغلظ الثانوى ، وذلك بانقسام خلاياه بجدر قطرية وكبر الخلايا الناتجة . وينشأ عن نشاط الكامبيوم الفلينى فى هذه الحالة تكوين كتلة سميكة من الفلين على سطح الساق .

أما فى معظم النباتات الخشبية فإن نشاط الكامبيوم الفلينى الأول يتوقف بعد فترة وجيزة ، ويتحول هو نفسه إلى طبقة من الفلين ، ويتكون كامبيوم ثان أكثر عمقا داخل القشرة ، ينتج بدوره منطقة جديدة من الفلين ، ثم لايلبث الكامبيوم الثانى أن يبطل عمله هو الآخر ، ليتكون من بعده كامبيوم ثالث يعطى فليناً جديداً ، وهكذا . وبذلك يصبح الفلين مكونا من طبقات متبادلة ومتعاقبة من الفلين والقشرة الميتة ، تشمل جميع الأنسجة الواقعة خارج أحدث حلقات الكامبيوم الفلينى .

وإذا كان الكامبيوم الأول عميق الموضع ، فإن الكامبيومات التاليةتكون على هيئة أسطوانات كاملة ، أما إذا كان سطحياً فإن الكامبيومات التاليةتكون مجرد صفائح رأسية مستقلة ، تتلاقى حوافيها وترتكز على بعضها البعض . وكلما زاد سمك القلف زاد التوتر الواقع على الأنسجة الخارجية ، ولذلك تظهر تشققات طولية على سطح الساق ، تشاهد فى كثير من الأشجار ، كالتوت مثلا . على أن الأغلب أن تتساقط الأجزاء الخارجية من القلف دون أن تتشقق ، إما على هيئة حلقات كاملة إذا كان الكامبيوم الفلينى أسطوانات كاملة ، كما فى شجر الكريز والقان والعنب ، ويعرف القلف فى هذه الحالة بالقلف الحلقى (Ring bark) ، أو على هيئة حراشيف تمثل كل حرشفة منها جزءا من المحيط — لا المحيط كله — كما فى أشجار الصنوبر والبلوط والكافور حيث يتخذ الكامبيوم الفلينى شكل صفائح رأسية ، وفى هذه الحالة يسمى القلف « قلفا حرشفيا » (Scale bark) ، وفيه يكون الجزء الأول من الحرشفة

موازيا لسطح الساق ، أما الحوافى فتنثنى إلى الخارج حتى تلتقى بالقشور الأقدم منها والتى تقع خارجها .

وفى نبـــات البلوط الفلينى **(Quercus suber)** — الذى يعتبر المصدر الرئيسى للفلين التجارى — يتكون الفلين الأول من كامبيوم ينشأ من الطبقة الواقعة تحت البشرة ، وليست لهذا الفلين قيمة صناعية تذكر . ولذلك ينزع عندما تبلغ الشجرة ١٠ — ١٥ سنة من عمرها ، فتتعرى القشرة ، وتأخذ فى تكوين كامبيوم فلينى جديد ، هو الذى ينتج الفلين التجارى ذا الجدر الخلوية الرقيقة ، وينزع هذا الفلين عن الشجرة على فترات تتراوح بين ثمان سنوات وإثنى عشرة سنة .

وبعد سقوط الفلين المبكر يمكن أن تتكون عديسات جديدة من أى جزء من حلقة الكامبيوم الفلينى النشيط .

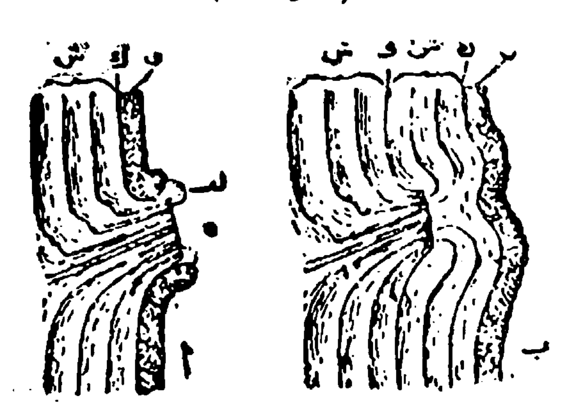
(التئام الجروح)

رأينا مما تقدم أن أهم الأغراض التى يؤديها الفلين هى وقاية الأنسجة الداخلية الحية من المؤثرات الخارجية ، لذلك إذا جرحت ساق عشبية أو درنة أو ورقة ، فإن السطوح الخارجية للخلايا المعرضة تتسوبر ، ثم يمتد هذا التبسوبر إلى الداخل عدة طبقات ، وبعد ذلك ينشط الانقسام فى الخلايا الحية الواقعة تحت هذه الطبقات لتكوين كامبيوم فلينى ، يعطى بضع طبقات من الفلين فى الناحية الخارجية ، وبذلك يلتئم الجرح .

وفى كثير من النباتات الخشبية المعمرة — وخاصة النباتات الشجرية والشجيرية — تلتئم الجروح العميقة التى تصل إلى الخشب بتكوين نسيج يعرف بالكالوس (ل — شكل ١٢٨ : أ) ، وينشأ من الكامبيوم الذى يتعرض للخارج بسبب الجرح أو قطع الفرع الجانبى مثلا ، حيث ينتج هذا الكامبيوم خلايا بارنشيمية طرية ، تتغلظ الخارجية منها تدريجيا بترسب مادة السويرين على جدرها الأصلية . ويستمر زحف هذا الكالوس فوق سطح الجرح

حتى يغطيه تماماً . وفى بعض الأحيان ينشأ كامبيوم فلينى فى الطبقات الخارجية من الكالوس يؤدى إلى تكوين طبقات من الفلين على سطح الجرح ، ومن داخل البريديرم يتكون كامبيوم وعائى من خلايا الكالوس الداخلية الحية ، متمما للأسطوانة الكامبيومية فى هذا الجزء المجروح . ويعطى ذلك الكامبيوم الوعائى خشبا ثانويا إلى الداخل ، وباستمرار التغلظ الثانوى — وتكون خشب جديد عاما بعد عام — يندمل الجرح ، ويندمج الجزء المجروح فى الخشب الثانوى المتكون حوله اندماجا تاما (شكل ١٢٨ : ب) .

(شكل ١٢٨)



قطاع طولى فى جزء من ساق يبين التئام الجرح الناتج عن قطع فرع جانبى . (ا) رسم تخطيطى يبين تكوين الكالوس ، (ب) رسم تخطيطى يبين التئام الجرح بعد ثلاث سنوات ، (ش) خشب ، (ش . ا) خشب مضاف ، (ق) قلف ، (ك) كامبيوم ، (ل) كالوس ، (و) موضع الكامبيوم وقت قطع الفرع الجانبى (عن روبنز وريكت) .

(سقوط الأوراق)

يسبق سقوط الأوراق التى تنتهى فترة حياتها — سواء فى النباتات دائمة الخضرة أو ذوات الأوراق المتساقطة — تكون طبقة انفصال (Abscission layer) محددة عند قاعدة العنق (ط . ف ، شكل ١٢٩) ، تتميز بصغر خلاياها ورقة جدرها وغزارة محتوياتها الحية ولذلك فهى تمثل موضع ضعف فى عنق الورقة ويمكن الاستدلال على موضعها من الخارج بوجود تخصر طفيف . وتطرأ على جدر الخلايا فى هذه الطبقة تغيرات كيميائية تحول الصفائح الوسطى — التى بين الخلايا المتجاورة — إلى طبقات مخاطية ، لاتلبث أن تذوب

فيؤدى ذوبانها إلى تفكك الخلايا وانفصالها، وإذ ذاك يصبح اتصال الورقة بالساق مقصوراً على البشرة والحزم الوعائية. وتتكون تحت طبقة الانفصال طبقة واقية من الفلين، تتصل فيما بعد بالفلين الذى يغلف الساق. ولا تقوى الحزم الوعائية طويلا على مغالبة الرياح، بل تنقطع بعد فترة وجيزة من تكوين طبقة الانفصال والطبقة الفلينية، وبذلك تنفصل الورقة وتهوى. وبعد سقوط الورقة يكون هناك سطح فليني أملس عند موضع الانفصال لاتقطع اتصاله إلا الحزم الوعائية المتقطعة التى كانت توصل الورقة بالساق ولا تلبث تجاويف الأوعية فى هذه الحزم أن تسدها التيلوزات.

(شكل ١٢٩)

رسم توضيحى يبين اتصال عنق إحدى الأوراق بالساق وموضع طبقة الانفصال الفلينية: (ب. ا) برعم إبطى، (ع) عنق الورقة، (ح. و) حزمة وعائية، (ط. ف) طبقة انفصال، (ف) فلين، (ل) لحاء، (ش) خشب، (ن) نخاع (عن سميث)



الباب الثالث عشر

تأثير البيئة على التركيب التشريحي للنبات

للبيئة التي يعيش فيها النبات أثر كبير على شكله الظاهري وتركيبه التشريحي ، ويعد الماء أهم عوامل البيئة من هذه الناحية ، فالنبات الذي يعيش في الماء يختلف كثيراً في صفاته الشكلية والتشريحية عن النبات الأرضي الذي يعيش في بيئة جافة . والوصف التشريحي الذي أوردناه في الأبواب السابقة ينطبق على النباتات الأرضية التي تعيش في بيئات متوسطة الرطوبة (Mesophytes) ، أما البيئات المتطرفة الرطوبة أو الجفاف فإن عامل الماء يتدخل ليحور التركيب التشريحي العام بما يلائم ظروف البيئة ، ويجعل النبات قادراً على احتمالها والحياة فيها . وسنورد فيما يلي أمثلة لتأثير البيئة على التركيب التشريحي للنباتات المائية (Hydrophytes) والنباتات الجفافية (Xcrophytes) .

(النباتات المائية)

تعيش بعض النباتات المائية مغمورة كلية في الماء ، بينما يطفو بعضها الآخر بأوراقه أو بعض مجموعة الخضرى فوق سطح الماء . ومن أمثلة النباتات المغمورة نباتات الإيلوديا (Elodea)) ونخشوش الحوت (Ceratophyllum) ولسان البحر (Potamogeton) . أما النبـــاتات الطافية فمنها الزقيم (Pistia stratoites) والياسنت المائى (Eichhornia crassipes) والبشنين (Nymphaea) .

ويختلف النباتات المغمورة في شكلها وتركيبها أختلافاً كبيراً عن النباتات الأرضية متوسطة الرطوبة (Mesophytes) . وأهم ماتعانيه النباتات المغمورة صعوبة الحصول على الأكسجين من الوسط المائى الذى يكتنفها من كل جانب وذلك لقلة الذائب منه في الماء . فبينما يحتوى اللتر من الهواء الجوى على ٢١٠ سم٣ من الأكسجين فإن اللتر من الماء لا يذيب أكثر من ٦ سم٣ من ذلك الغاز ،

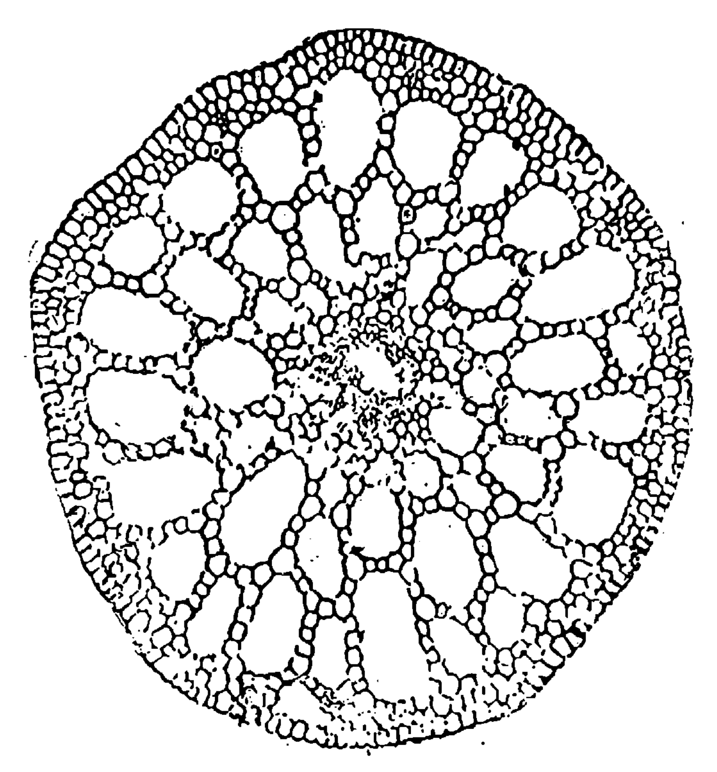
وقد يقل الموجود منه فعلا بالماء عن ذلك بكثير ، وخاصة فى الماء الراكد . وانتشار الأكسجين فى الوسط المائى بطىء جداً إذا قورن بانتشاره فى الهواء ، وللتغلب على هذه الصعوبة تتحور الأنسجة البارنشيمية فى هذه النباتات إلى « نسيج تهوية » (Aerenchyma) ، به ممرات هوائية واسعة تمتد من الجذور إلى السيقان حتى تصل إلى الأوراق . ولا تقتصر فائدة هذه الممرات على تقليل الكثافة النوعية للنباتات المائية ومساعدتها على البقاء فى المـــاء قريبة من الضوء ، ولكنها تمثل مستودعات تختزن بها الغازات اللازمة لعمليات التبادل الغازى ، فيختزن بها غاز الأكسيجين المتخلف من عملية البناء الضوئى لاستعماله فى التنفس ، كما يتجمع بها ثانى أكسيد الكربون المتخلف من عملية التنفس أثناء الليل ، حيث يستعمل فى عملية البناء الضوئى فى نهار اليوم التالى .

ويصاحب هذا التحسين فى جهاز التهوية اختزال فى جهازى التدعيم والتوصيل ، فيقل عدد الحزم الوعائية ، كما يقل عدد الأوعية فى أنسجة الخشب ويقل تغلظها . وفى كثير من النباتات يختزل عدد الحزم إلى حزمة واحدة مركزية بسيطة التركيب ، ويرجع السبب فى اختزال جهاز التوصيل إلى أن النباتات المائية تمتص الماء بجميع سطحها ، والذلك لاتعانى صعوبة فى الحصول على كفايتها منه ، كما أنها لاتحتاج إلى تكوين أوعية كثيرة لتوصيله كما فى حالة النباتات الأرضية .

أما من ناحية التدعيم فليس ثمة أنسجة كولنشيمية أو سكلرنشيمية تذكر فى النباتات المائية ، لأن تلك النباتات لاتحتاج إلى تدعيم ، فهى تلقى سنداً قوياً من الماء الذى يغمرها ، ولا يتعرض مجموعها الخضرى لرياح تدفعها ذات اليمين وذات اليسار ، كما لايتعرض مجموعها الجذرى لعامل الشد الذى تتعرض له جذور النباتات الأرضية .

ولنضرب مثلا للنباتات المائية المغمورة نبات الإلوديا (Elodea) .

(شكل ١٣٠)



قطاع مستعرض فى ساق نبات الإلوديا

التركيب الداخلى لساق الإلوديا :

فى القطاع المستعرض لساق الإلوديا (شكل ١٣٠) نشاهد على السطح بشرة من طبقة واحدة من خلايا ذات جدر سليلوزية رقيقة ، خالية من الثغور والشعيرات السطحية ، وغير مغطاة بأدمة . ونظراً لعدم وجود كيوتين أو سوبرين على سطوح السيقان والأوراق فإن تلك الأعضاء المغمورة تستطيع امتصاص الماء والأملاح الذائبة فيه بجميع سطحها المغمور ، كما تستطيع أيضاً امتصاص الغازات اللازمة ، وهى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ، وتقتصر وظيفة البشرة هنا على مجرد الوقاية – كما فى النباتات الأرضية – إذ أن خلاياها تحتوى على بلاستيدات خضر وتساهم فى عملية البناء الضوئى ، خاصة إذا كانت الأوراق رفيعة مشرحة ، كما هو الغالب فى هذه النباتات ، وفى حالات نادرة توجد ثغور قليلة ناقصة التكوين أو ضامرة ، لا تحدث

عن طريقها تبادل غازى ، وإنما يحدث ذلك التبادل مباشرة عن طريق الجدر الخلويه لطبقة البشرة .

وتلى البشرة قشرة واسعة تشبه فى اتساعها قشرة الجذور فى النباتات الأرضية ، بها طبقات عديدة من خلايا بارنشيمية هوائية رقيقة الجدر – خالية من أى تلجنن – تجعلها إسفنجية التركيب . ويتكون الجزء الخارجى من القشرة من طبقتين تقريباً من خلايا بارنشيمية متماسكة ضيقة الفراغات . بينما الجزء الأوسط منطقة واسعة من بارنشيمة هوائية ، تتناثر فيها قنوات هوائية (Lacunae) كبيرة ممتلئة بالغازات ، تفصلها عن بعضها البعض حواجز أو أغشية رقيقة ، سمك كل منها طبقة واحدة من الخلايا . وفى الطرف الداخلى للقشرة تتماسك الخلايا وتصغر القنوات كما فى الجهة الخارجية . وتحتوى جميع خلايا القشرة على بلاستيدات خضر ، يمتد وجودها حتى البشرة الداخلية ولاتوجد بالقشرة أنسجة كولنشيمية كتلك التى توجد عادة بقشرة النباتات الأرضية الوسطية . وتنتهى من الداخل بالبشرة الداخلية ، وهى طبقة واحدة تترسب على جدرها القطرية أشرطة كاسبار ، وتشبه البشرة الداخلية لجذور ذوات الفلقتين ، وتتكون بها حبيبات نشوية .

وفى مركز الساق توجد الأسطوانة الوعائية ، وهى ضيقة جداً إذاقورنت بالقشرة ، ولاتوجد بها حزم ليفية وعائية كتلك التى توجد عادة بالنباتات الأرضية ، وإنما تتكون من حزمة واحدة من عناصر غير ملجننة ، بوسطها فجوة تمثل الخشب ، وهو هنا مختزل كل الاختزال ، وذلك لأن وظيفة توصيل الماء لايحتاج إليها النبات المغمور كحاجة النباتات الأرضية إليها ، وتحدد الفجوة المركزية موضع الخشب فحسب ، وهى لاتختلف عن الغرف الهوائية إلا فى كونها أضيق منها كثيراً ، أما اللحاء – فبرغم أنه أقل كمية منه فى النباتات الأرضية – فهو ممثل تمثيلا جيداً إذا قورن بالخشب ، ويشبه بوجه عام لحاء النباتات العشبية من حيث صغر الأنابيب الغربالية إذا قورنت بنظائرها فى النباتات الخشبية . أما بارنشيمة الخشب فكبيرة الحجم لدرجة تميزها عن نظائرها فى أعضاء النباتات الأرضية .

(النباتات الجفافية)

تعيش هذه النباتات فى جفاف من التربة والجو ، ولهذا تتركز تحوراتها الشكلية والتشريحية على ما يكفل احتفاظها بالتوازن المائى فى أنسجتها ، أى بالتوازن بين النتح والامتصاص . فالهواء الحار الجاف الذى يحيط بمجموعها الخضرى من شأنه أن ينشط النتح ، بينما يعمل نقص المحتوى المائى للتربة على تقليل الامتصاص ، ولهذا تلجأ النباتات الجفافية الحقيقية – كمعظم نباتات الصحراء – إلى اختزال المجموع الخضرى الناتج مع التوسع فى إنتـــاج الجذور وتكوين المجموع الجذرى ، مما يقلل النتح الكلى ، كما يقلل النسبة بين النتح والامتصاص ، وفى الوقت نفسه يلجأ النبات الجفافى إلى ضروب مختلفة من التحورات الشكلية والتركيبية ، من شأنها أن تنقص معدل النتح وتقلل تبخر الماء من سطح النبات . ومن بين هذه الصفات الجفافية زيادة سمك الأدمةأو بطبقة من الشمع أو بشعيرات غزيرة ، مما يقلل النتح الأدمى كثيراً . ومنها انخفاض الثغور عن المستوىالعام للسطحالناتج أو وجودها فىفجوات عميقة لاتتصل بالهواء الجوى الجاف اتصالا مباشراً ، مما يقلل معدل النتح الثغرى . ومنها وجود طبقة سميكة من الفلين تغطى أعضاء النبات الأرضية وتقيها من امتصاص التربة لمائها وذلك لأن التربة الجافةلها قوة امتصاص كبيرة تمكنها من سحب كمية كبيرة من الماء من أنسجة النبات ، ومنها أيضاً تغطية الأجزاء المسنة من الساق بطبقة سميكة من الفلين للوقاية من الجفاف.

(شكل ١٣١)

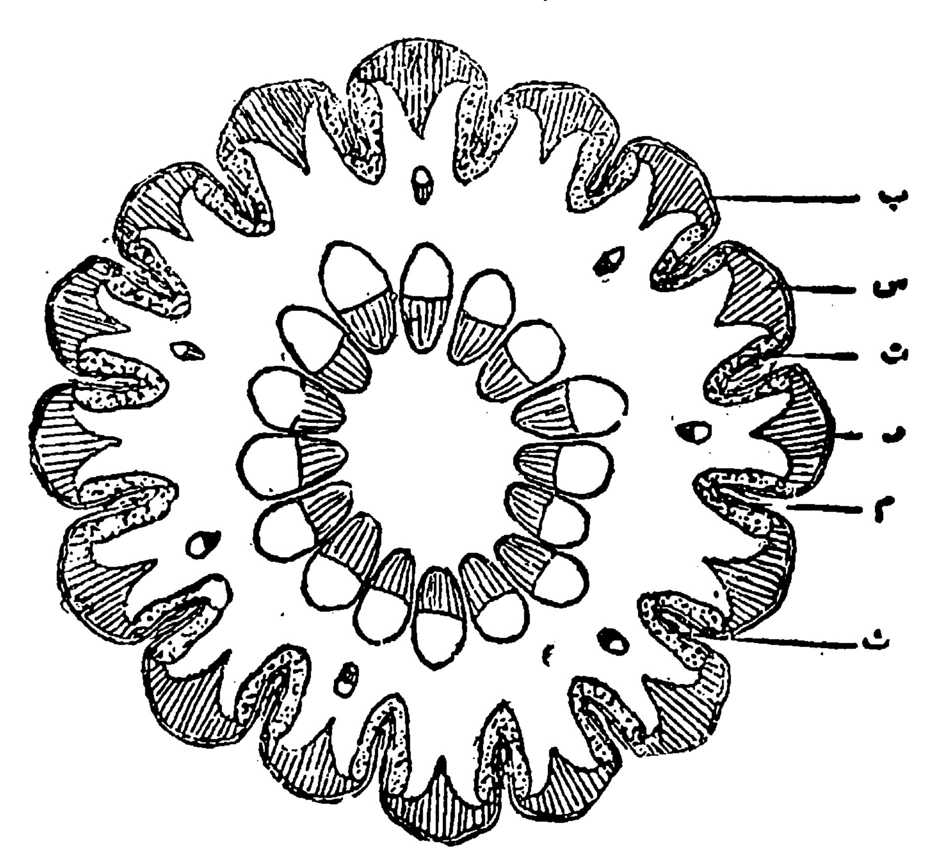
قطعة من نبات الرتم ، مكونة من ساق خضراء غشيلبة عديمة الاوراق ونورة جانبية .

ولدراسة أمثلة من الخصائص التشريحية الجفافية يمكن فحص قطاعات مستعرضة فى سيقان الرتم والخازوارينا ، وفى أوراق الدفلة وقصب الرمال.

التركيب الداخلى لساق الرتم :

يعد نبات الرتم (Retama raetam) من أكثر نباتاتنا الصحراوية انتشاراً . وهو عديم الأوراق . سيقانه الطرفية خضراء رفيعة مستديرة (شكل ١٣١) تؤدى وظيفة التمثيل الكربونى عوضاً عن الأوراق . وأول ما يستلفت النظر عند فحص قطاع مستعرض فى إحدى هذه السيقان الرفيعة الخضراء (شكل ١٣٢) وفرة العناصر الميكانيكية والتوصيلية . ووجود بروزات متعاقبة فى سطح الساق تفصلها تجاويف عميقة ضيقة تجعل السطح غير

(شكل ١٣٢)



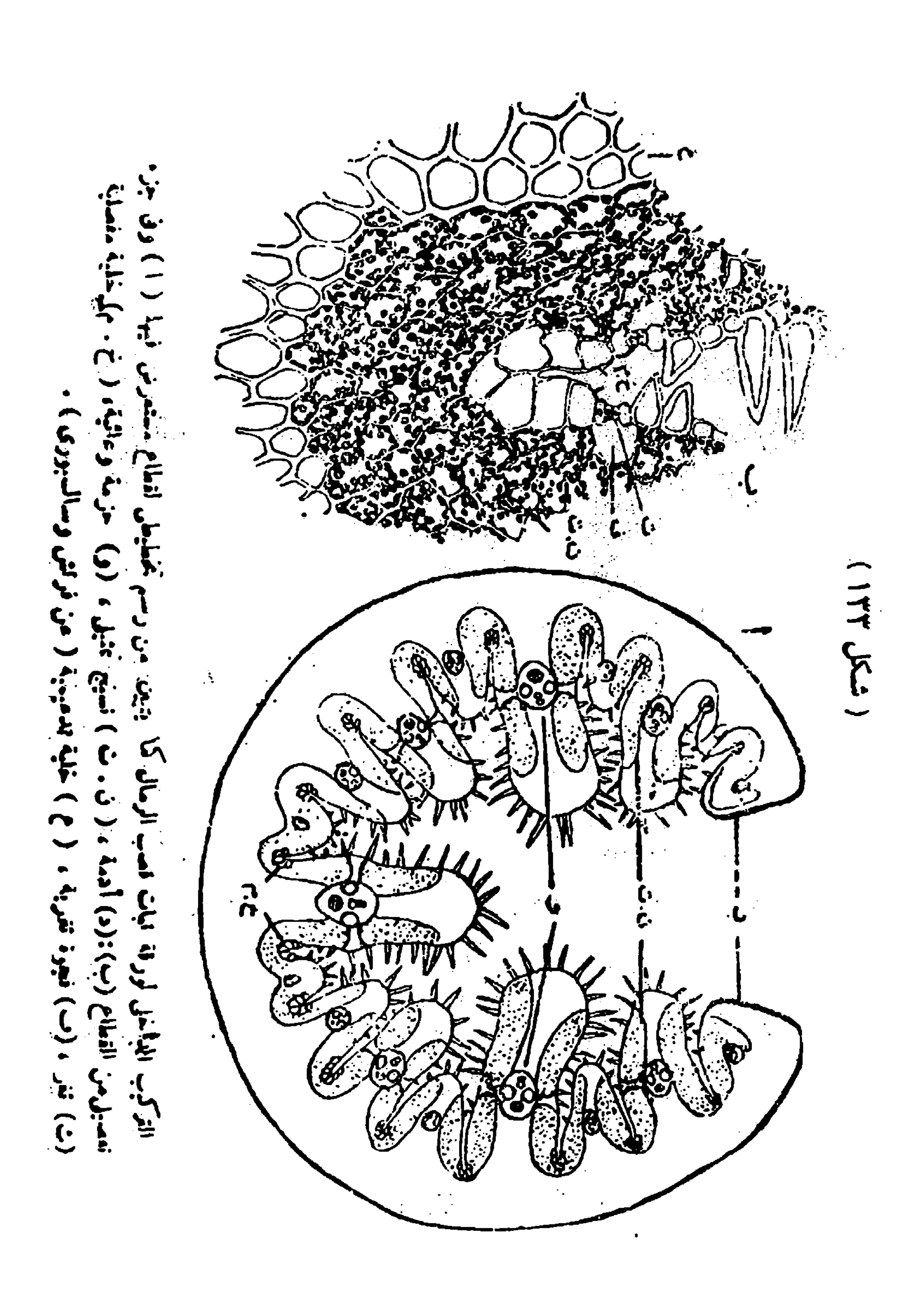
* رسم تخطيطى لقطاع مستعرض فى ساق الرتم يبين : (ب) البشرة ، (س) سكلرنشيمى ، (ت) نسيج تمثيل ، (د) برور ، (م) تجويف ، (ث) ثغور

مستو . وتغطى البشرة بأدمة سميكة . كما تنحصر الثغور فى التجاويف ، وتقع فى منطقة من خلايا بارنشيمية تمثيلية رقيقة الجدر وممتلئة بالبلاستيدات الخضر . وتحمى الثغور وفتحات التجاويف شعيرات سطحية تساعد على تقليل النتح ، وإضعاف أثر الهواء الجوى الجاف . وفى البروزات توجد أنسجة سكلرنشيمية تحت البشرة . وتتكون الأسطوانة الوعائية من حزم مرتبة فى حلقة واحدة ، تحتوى كل حزمة منها على خشب ثانوى إلى جانب الخشب الابتدائى ، وبالخشب قدر وغير من العناصر الملجنة .

التركيب الداخلى لورقة قصب الرمال :

قصب الرمال « Ammophila (= Calamagrostis) arenaria » هو أحد أفراد الفصيلة النجيلية ، ويوجد بكثرة على الكثبان الرملية الساحلية ، خاصة على ساحل البحر الأبيض المتوسط فى مريوط وشمال الصحراء الغربية . ولهذا النبات أوراق طويلة . تلتف على نفسها من ناحية السطح العلوى ، بحيث لايتعرض ذلك السطح – الذى يحمل الثغور – لجفاف فى وسط النهار . وإذا عمل قطاع مستعرض فى نصل هذه الورقة الملتفة وفحص بالمجهر ، فإنه يلاحظ التفاف الورقة بشكل يجعل السطح السفلى خارجياً معرضاً والسطح العلوى داخلياً مختبئا (شكل ١٣٣) . وتتغطى البشرة السفلى بأدمة سميكة ، وتكون خالية من الثغور خلواً تاماً . أما السطح العلوى فغير مستوبه بروزات وتجاويف متبادلة ، وتختبىء الأخيرة اختباء محكما ، وتنتظم على جوانبها الأنسجة التمثيلية بخلاياها البارشيمية ذات الجدر الرقيقة والبلاستيدات الغزيرة . وتوجد بكل بروزحزمة وعائية مغلقة من نوع الحزم المميزةلذوات الفلقة الواحدة ، يتجه لحاؤها ناحية السطح السفلى للورقة بينما يتجه الخشب ناحية السطح العلوى المختبىء . ويحيط بالحزمة غمد سكلرنشيمى متصل من فوقه ومن تحته بشريط من أنسجة ملجنة تصل إلى البشرتين ، وتوجد أيضاً شعيرات حادة قوية تنشأ من خلايا البشرة العليا ، وتحمى فتحات التجاويف التى بها الثغور والأنسجة التمثيلية الرقيقة ، فتقلل تعرضها للهواء الجوى الجاف

وبذلك يقل النتح وتصان الأنسجة من الجفاف . كما تشاهد أيضاً عند قاع التجاويف خلايا مفصلية (Hinge cells) وظيفتها المعاونة على تفتح الورقة عندما تزداد الرطوبة ويقل الجفاف وتنتفخ الخلايا ، والتفافها عندما تقل الرطوبة ويزيد الجفاف وتتقلص الخلايا .



(شكل ١٣٣)

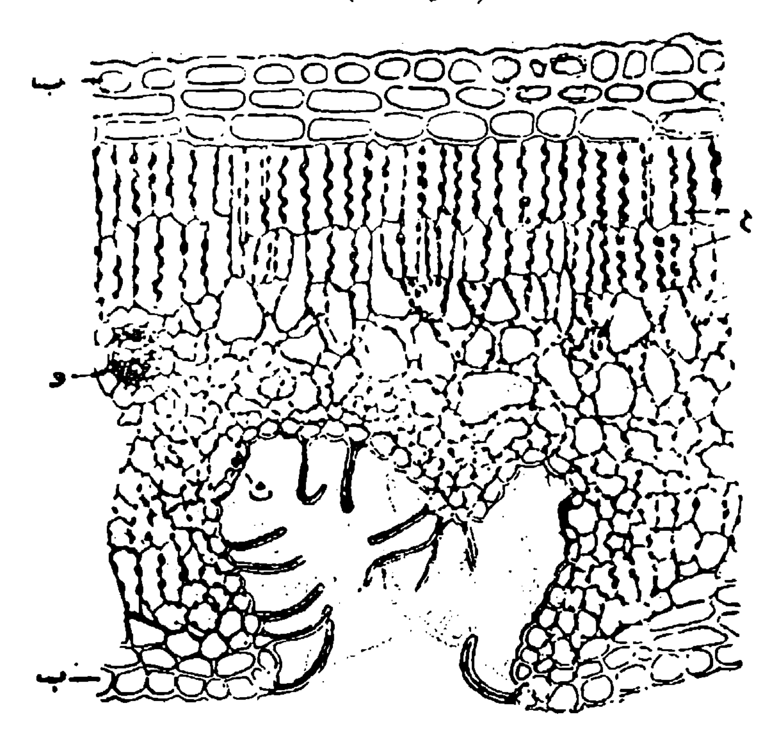
التركيب الداخلي لورقة نبات قصب الرمال كما يتبين من رسم تخطيطي لقطاع مستعرض فيها (ا) وفي جزء تفصيلي من القطاع (ب) : (د) أدمة ، (ن . ت) نسيج تمثيلي ، (و) حزمة وعائية ، (خ . م) خلية مفصلية (ث) ثغر ، (ف) فجوة تحت ثغرية ، (م) خلية مدعمية (عن فرلش وسالسبوري) .

التشكل الجفافى والتركيب التشريحى لنبات الدفلة :

لايقتصر التشكل الجفافى — ممثلا فى الثغور الغائرة المختبئة داخل تجاويف من سطح البشرة — على نباتات الأراضى الجافة وحدها ، كنباتى الرتم وقصب الرمال ، بل يوجد أيضاً فى بعض نباتات الأراضى الرطبة كنبات الدفلة (Nerium oleander) الذى يزرع فى حدائق الزينة ، ويعيش على جوانب الترع والقنوات فى بحبوحة من الماء . ويعتبر التشكل الجفافى فى تلك الحالة من الصفات الوراثية الملازمة للنبات أكثر منه استجابة وملاءمة لظروف الوسط الذى يعيش فيه .

وإذا فحص بالمجهر قطاع مستعرض فى ورقة الدفلة (شكل ١٣٤) ، لوحظ وجود تجاويف كثيرة على السطح السفلى تخرج منها شعيرات غزيرة . وتمتد هذه التجاويف إلى الداخل مسافة تقرب من ثلث سمك الورقة ، وتمثل الشعيرات امتدادات لخلايا البشرة المبطنة للتجاويف . وبوجود الثغور داخل

(شكل ١٣٤)



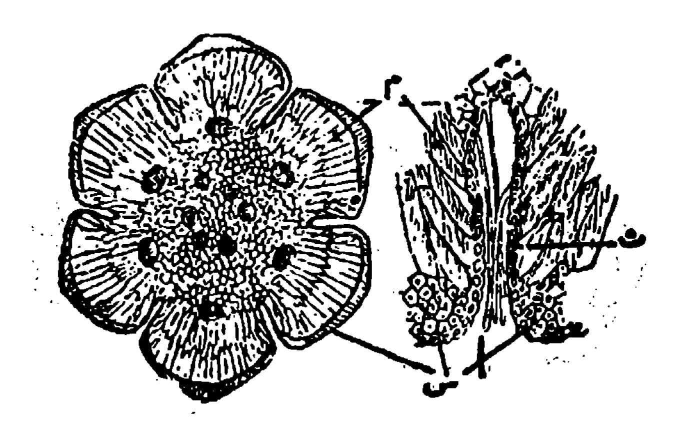
قطاع مستعرض فى ورقة الدفلة : (ب) بشرة ، (ع) خلايا عمادية ، (م) خلايا مجمعة (و) حزمة وعائية ، (ث) ثغر (عن فرتش وسولسبورى)

تجاويف تظلها الشعيرات السطحية تصبح محاطة بهواء معتدل الحرارة مرتفع الرطوبة . وتتميز أوراق الدفلة زيادة على ذلك بأدمة سميكة على السطح العلوى المعرض . وتكثر بالنسيج الأسفنجي الفراغات الهوائية الواسعة ، والشبيهة بفراغات النباتات المائية ، كذلك توجد تحت البشرة طبقتان من خلايا مختزنة للماء ، وتحتوى الأوراق على طبقة عمادية واحدة .

التشكل الجفافى والتركيب التشريحى لسيقان الكازوارينا :

يعتبر التشكل الجفافى الذى يشاهد فى فروع الكازوارينا **(Casuarina)** الطرفية الخضراء مثلا آخر للتشكلات الموروثة ، ونبات الكازوارينا نوع من الأشجار الخشبية التى تزرع بوفرة فى بلادنا للانتفاع بأخشابها ، كما تستغل كأسوار وتزرع على جوانب الطرق العامة للظل والزينة . ويعيش هذا النبات دائماً تحت ظروف الرطوبة الوفيرة بالتربة ، ولا يستطيع أن يعيش بالأراضى الجافة على الإطلاق ، ولا يوجد بريا فى البيئة الصحراوية ، وهو يحمل أوراقا حرشفية صغيرة لا تقوم بوظيفة البناء الضوئى .

(شكل ١٣٥)



قطاع مستعرض (إلى اليسار) فى ساق الكازوارينا وفى أحد تجاويفه (إلى اليمين) (ث) ثغر ، (م) خلية عمادية ، (س) خلية سكلرنشيمية (عن فرتش وسالسبورى) .

وتقوم بتلك الوظيفة عوضا عنها فروعه الصغيرة الخضراء . وإذا قطع فى أحد هذه الفروع قطاع مستعرض وفحص بالمجهر ، لوحظ وجود تجاويف على سطحه (شكل ١٣٥) تحتمى الثغور بداخلها ، وينحصر وجودها فيها ، وتحمى تلك الثغور وتجاويفها شعيرات كثيفة ، وتقع الثغور على جوانب التجاويف ، فى مناطق الأنسجة التمثيلية التى تغطى هذه الجوانب من الداخل . وفى ذلك تشبه الكازوارينا النباتات الأخرى التى سبق شرحها كالرتم وقصب الرمال . وتوجد بالبروزات أنسجة سكلر نشيمية تحت البشرة مباشرة ، ومن تحتها عدة طبقات من خلايا عمادية . وفى وسط الساق توجد حلقتان من الحزم الوعائية ، وعند أسفل التجاويف توجد خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، تتصل بالأنسجة التمثيلية العمادية . والبشرة مغلظة الجدران ملجننة فى البروزات ، ولكنها تصبح رقيقة الجدر غير ملجننة على جوانب التجاويف ، حيث توجد الثغور .

❀ ❀ ❀

القسم الثالث

النبات التقسيمى

(Systematic Botany)

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الرابع عشر

تقسيم المملكة النباتية

تنقسم المملكة النباتية إلى تحت – مملكتين رئيسيتين (Subkingdoms) بحسب مدى التركيب الدقيق للنواة فى الخلايا التى يتكون منها النبات ، وما إذا كانت هذه النواة بدائية (Prokaryotic) أو حقيقية (Eukaryotic) والاختلاف بينهما كبير للغاية بحيث صنفت النباتات ذوات الخلايا بدائية النواة فى تحت – مملكة خاصة أطلق عليها اسم « بدائيات النواة « Prokaryota » والنباتات ذوات الخلايا حقيقية النواة فى تحت – مملكة أخرى أطلق عليها اسم « حقيقيات النواة Eukaryota » .

وتتميز الخلايا التى ترتقى فى تعضيها إلى مستوى حقيقية النواة (Eukaryotic level) باحتوائها على نواة محددة ، يفصل ما بينها وبين سيتو بلازم الخلية غلاف نووى غشائى واضح ، وتحتوى بداخلها على نوية (nucleolus) واحدة أو أكثر ، وتتشكل مادتها الكروماتينية أثناء الانقسامات إلى خيوط تسمى كروموسومات (أو صبغيات) محددة الأعداد والأشكال وشديدة القابلية للاصطباغ . أما الخلايا ذوات مستوى التعضى بدائى النواة فتختلف عن ذلك تمام الاختلاف ، إذ لا تحتوى إلا على مادة كروماتينية غير متميزة الأجزاء ، يطلق عليها أحياناً اسم شبه نواة (nucleoid) ، لا يفصلها عن السيتو بلازم أى غشاء ، ولكنها تكون قابلة للاصطباغ ، وتفتقر إلى القدرة على التشكل فى هيئة كروموسومات محددة أثناء انقسام الخلية . أما ما يرتبط بهذه الاختلافات النووية – من حيث البدائية أو الحقيقية – من اختلافات جوهرية فى تراكيب عضيات الخلية فقد سبقت الإشارة إليها تفصيلياً فى باب سابق .

بدائيات النواة

PROKARYOTA

(=PROKARYOTES)

تضم بدائيات النواة أقسام البكتريا والفيروسات والطحالب الخضر المزرقة . ويتفق البيولوجيون على أن بدائيات النواة أقدم فى نشأتها من حقيقيات النواة ، وتعتبر أسلافاً لها . وفيما يلى مقارنة مختصرة بين حقيقيات النواة وبدائيات النواة .

حقيقيات النواة	بدائيات النواة
١ – البروتوبلازم أكثر سيولة ، به فجوات ، أكثر حساسية لعوامل التجفيف والعوامل الأوزموزية والحرارية .	١ – البروتوبلازم أكثر صلابة ، عديم الفجوات ، أكثر مقاومة لعوامل التجفيف والعوامل الأوزموزية والحرارية .
٢ – توجد بها عضيات بروتوبلازمية مختلفة الأنواع مغلفة بأغشية داخل السيتوبلازم .	٢ – لا توجد بها العضيات البروتوبلازمية المغلفة بأغشية .
٣ – النواة ذات تركيب داخلي معقد ويغلفها غشاء محدد .	٣ – النواة – إن وجدت – تكون بسيطة نسبياً فى تركيبها ولا يغلفها غشاء محدد .
٤ – توجد بالصبغيات عادة بروتينات نسيجية (histone proteins) . وتعتبر من مكوناتها الداخلية الهامة .	٤ – المادة الكروماتينية خالية من البروتينات النسيجية ، بل وليس بها بروتينات من أى نوع .
٥ – الانقسام الخلوى ميتوزى (mitotic)	٥ – الانقسام الخلوى لاميتوزى (amitotic)

٦ ـ تحدث بها غالباً عمليات جنسية نموذجية تتضمن اتحاد أنوية يعقبه انقسام اختزالى .	٦ ـ لا تحدث بها عمليات جنسية نموذجية ولكن المادة الوراثية تنتقل أحياناً بعمليات جنسية أخرى جانبية .
٧ ـ الأهداب ـ إن وجدت ـ معقدة التركيب .	٧ ـ الأهداب ـ إن وجدت ـ بسيطة التركيب نسبياً .
٨ ـ لا تستطيع الانتفاع بالنتروجين الجوى .	٨ ـ تستطيع الكثرة منها الاستفادة من النتروجين الجوى .
٩ ـ تتفاوت ما بين وحيدة الخلية مجهرية وكبيرة الحجم معقدة التركيب .	٩ ـ دائماً صغيرة الحجم تتفاوت ما بين وحيدة الخلية مجهرية ومتعددة الخلايا ولكن دون تميز أجسادها إلى أعضاء وأنسجة .

تصنيف بدائيات النواة :

من أحدث تصنيفات بدائيات النواة تصنيف راى وستيفز وفولتز (١٩٨٣) الذى تقسم بمقتضاه تلك الكائنات البدائية إلى قسمين رئيسيين ، هما :

(أ) البكتريا (Bacteria) ، ويطلق عليها أيضاً اسم الكائنات الانشطارية (Schizonia) .

(ب) بكتريا خضر مزرقة (Cyanobacteria) وتسمى أيضاً طحالب خضر مزرقة (Cyanophyceae)، وتضم البكتريا الأقسام الآتية :

١ ـ البكتريا البدائية (Archaeobateria) وهى المحبة للحرارة والحموضة والميثان .

٢ ـ البكتريا الحقيقية (Eubacteria) .

٣ ـ البكتريا (أو القطريات) الشعاعية (Actinobacteria or Actinomycetes) وهى البكتريا الخيطية .

٤ - المولكيوتات (Mollicutes) وتسمى أيضاً ميكوبلازمات (Mycoplasmas) .

أما البكتريا (أو الطحالب) الخضر المزرقة فيقسمونها إلى القسمين الآتيين :

١ - سيانوكلورنتا (Cyanochloronta) وهى الطحالب الخضر المزرقة .

٢ - بروكلورونتا (Prochloronta) ، وهى طحالب وحيدة الخلية بلاستيداتها الخضر بها كلوروفيل أ ، ب ولكن منشأها من أصل مختلف عن منشأ بقية الطحالب ، ومنها طحلب بروكلورون (Prochloron) الذى يعيش معيشة تكافلية داخل أجسام مجموعة من الحيوانات البحرية يطلق عليها اسم (Tunicates) .

وهناك من يقسم بدائيات الأنوية - أو كما يسمونها النباتات الأولية (Protophyta) - إلى الأقسام الأربعة الآتية :

١ - الميكروتاتوبيوتات (Microtatobiotes) وتشمل رتبتى الفيروسات (Virales) والريكتسيات (Rickettsiales) ، ومن أبرز الصفات التى تشترك فيها هاتان الرتبتان صفتا إجبارية التطفل وعدم القدرة على القيام بأنشطة أيضية بمنأى عن خلايا العائل الحية .

٢ - المولكيوتات (Mollicutes) - أو الميكوبلازمات - ويتبعها جنسا ميكوبلازما وأكولبلازما (Acholeplasma) .

٣ - الفطريات الانشطارية (Schizomycota) التى تضم ما يقرب من تسع رتب من البكتريا .

٤ - النباتات الانشطارية (Schizophyta) وتشمل الطحالب الخضر المزرقة .

بعض المعايير التصنيفية :

جرت العادة على تقسيم البكتريا والطحالب الخضر المزرقة إلى أجناس (genera) وأنواع (Species) بحسب أشكال وأحجام الخلايا ، والطرق الإنمائية للكائنات ، وأنماط تحركها ، ذلك أن تحرك هذه الكائنات البدائية يتم بإحـــدى آليات ثلاث : إما بوساطة أسواط (flagella) ، كما فى غالبية البكتريا العصوية والحلزونية ، وإما بآلية انزلاقية نتيجة لموجات من الانقباضات الخلوية ، كما هو الشأن فى بكتريا الكبريت والبكتريا الهلامية ، وإما بآلية شبيهة بالحركة الدودية ، كما فى البكتريا اللولبية (Spirochaetes) ، وتتم هذه الحركة شبه الدورية بوساطة حزم من الليفات المرنة القابلة للانقباض والتى توجد بين الأغشية الخارجية للخلية ومحتوياتها البروتوبلازمية الداخلية .

وبالإضافة إلى المعايير التصنيفية سالفة الذكر ، والخاصة بالكائنات بدائية النواة وحيدة الخلية تمتد تلك المعايير لتشمل تحديد ما إذا كانت الخلية مكبسلة (أى مغلقة بكبسولة) Encapsulated أم غير مكبسلة ، والكبسولة طبقة هلامية تغلف الخلية تغليفا تاما ، كما تشمل أيضاتحديد طراز التكاثر ومدى استجابة الخلية للاصطباغ بشتى الصبغات . بل وقد يتطلب تحديد الوضع التصنيفى للكائنات بدائية النواة تحديد البيئة التى يعيش فيها الكائن أصلا ومدى مواءمته لما تتميز به تلك البيئة الأصلية من سمات ، ومدى إمكان تكيفه لظروف بيئات أخرى إذا قدر له الانتقال إليها ، مثال ذلك قدرة بعض الكائنات الدقيقة على إنتاج الغازات أو الأحماض فى المزارع المعملية ، وقدرتها على تثبيت النتروجين الجوى إذا قدر لها المعيشة فى بيئات فقيرة فى محتوياتها النتروجينية ، أما فى حالة الكائنات بدائية النواة متعددة الخلايا فلابد أن تؤخذ فى الاعتبار عند التصنيف خصائص الكائن بأكمله .

شبه النواة (Nucleoid) فى بدائيات النواة :

وتعرف شبه النواة أيضاً باسم « البلازم النووى » (nucleoplasm) ،

وهي تمثل المادة النووية فى صورة بدائية ، وتتكون فى البكتريا من الحامض النووى الديزوكسي الريبوزى (DNA) الذى ينتظم فى حزم من الليفات المتراكمة . وقد تتغير أنماط تجمع هذه الحزم من الأنماط التراكمية إلى أنماط مستطيلة شبه شريطية ، وتحدث هذه التحولات النمطية كاستجابة لتغير الظروف البيئية . وقد كان من نتائج انعدام الغلاف النووى وعدم تكشف الكروموسومات فى الكائنات بدائية النواة أن ساد الاعتقاد فى الماضى أن البكتريا كائنات عديمة النواة ، وكان السبب المباشر فى ذلك الاعتقاد احتواء شبه النـــواة على الحامض النووى الديزوكسى ريبوزى (DNA) واحتواء السيتوبلازم على الحامض النووى الريبوزى (RNA) ، ولما كان الحامضان كلاهما قابلين للاصطباغ بنفس الصبغات فإن جميع محتويات الخلية كانت تصطبغ معاً كمجموعة متشابهة الاصطباغ ، لا تميز فيها بين السيتو بلازم وشبه النواة . ولكن أمكن بعد ذلك استجلاء وجود المادة الكروماتينية — أو شبه النواة — فى الخلية البكتيرية بوضوح عندما استخدمت تقنيات للتخلص من الحمض النووى الريبوزى (السيتو بلازمى) دون المساس بالحمض النووى الديزوكسى ريبوزى الخاص بشبه النواة . ويمكن التخلص من الحمض النووى السيتوبلازمى إما بمعالجة الخلية البكتيرية بأحماض مخففة وإما باستعمال إنزيم خاص يعرف باسم « ريبونيوكليز Ribonuclease » وهو إنزيم يذيب الحمض النووى السيتوبلازمى دون المساس بالحمض النووى الشبه النواة ، ومن ثم يقتصر الاصطباغ على الحمض الأخير وحده فيبدو متميزاً كمادة كروماتينية عديمة النويات والغلاف النووى والكروموسومات .

ولقد كان لتقدم التقنية المجهرية الإلكترونية وارتقاء علم الوراثة الميكروبية (Microbial Genetics) أكبر الفضل فى إزاحة الستار عن كثير من الأسرار الخاصة بتراكيب الخلايا بدائية الأنوية والكشف عن طرق تكاثرها .

أولا — البكتريا

مقدمة :

البكتريا واسعة الانتشار ، وموزعة على امتداد العالم كله ، ويرجع فضل السبق فى التعرف عليها كقسم من أقسام النباتات إلى العالم النباتى الألمانى كارل ولهلم فوق نيجلى (Karl Wilhelm von Naegeli) الذى عاش فيما بين عامى ١٨١٧ و ١٨٩١ ،وهو الذى اقترح اطلاق اسم الفطريات الانشطارية (Fission Fungi) على هذا القسم من أقسام النباتات فى عام ١٨٥٧ .

ويمكن تعريف البكتريا على أنها كائنات بدائية النواة ، إما عديمة اليخضور وإما تحتوى قلة منها على يخضور من نوع خاص ولا ينطلق منها أكسجين فى عملية البناء الضوئى . والبكتريا ذوات البناء الضوئى أهمية بيولوجية كبرى . وهناك نسبة الثلث بين جميع أنواع البكتريا ملونة تلوناً واضحاً ونسبة الثلثين غير ملونة . وغالبية الأنواع وحيدة الخلية ، بينما البعض خيطية ، بسيطة أو متفرعة ، أو على شكل مستعمرات من خلايا متلاصقة . وللكثرة العظمى جدار خارجى محدد ، عادة نتروجينى . وتختزن البكتريا مدخرات غذائية فى صور شتى ، منها القطيرات الدهنية والحبيبات البروتينية وحبيبات المركبات المختلفة من عديدات التسكر مثل النشا والجليكوجين وغيرهما ، وتتكاثر البكتريا فى الظروف العادية بالانقسام الخلوى المباشر (amitotic) ، وهو انقسام لافتيلى ، وتنتج بعض الأنواع جراثيم . وقد أمكن إثبات تبادل المادة الوراثية بين خلية بكترية وأخرى فى عدد من صور البكتريا ، ولكن اتضح فى جميع الحالات أن الانتقال إنما تم بعملية جنسية جانبية (Parasexual) ولم يتم بعملية جنسية حقيقيـــة (Truly sexual) تضمنت اتحاد أمشاج لتكوين لاقحة (Zygote) .

نشأة علم البكتريا :

لم تكن البكتريا معروفة للإنسان قبل استكشاف العدسات ، وظلت غير معروفة حتى أواخر القرن السابع عشر ، وكان أول من اكتشفها هوالندى

يدعى أنتونى فان ليفنهوك (Antony van Leeuwenhoek) فى صيف عام ١٦٨٦ ، الذى اتخذ من صناعة العدسات وصقلها هواية له يشغل بها أوقات فراغه . وأدت به هذه الهواية إلى أن يفحص بعدساته جميع مايصادفه من أشياء ، ففحص مستخلصاً مائياً لبذور من الفلفل كان قد نقعها فى الماء بضعة أيام ، كما فحص فى عام ١٨٦٣ عينة بكتيرية جمعها من فضلات الطعام التى بين أسنانه ، وفحص مياه الأمطار والمواد المتعفنة والدم والجبن ، ووجد أن جميع هذه الأشياء تزخر بكائنات دقيقة نشيطة الحركة أطلق عليها اسم « جزيئات حيوانية » (animalules) ، ولاحظ أنها تختلف فى أشكالها ما بين الكروى والقصبى والحلزونى ، ولم يكن البيولوجيون قد توصلوا بعد إلى تمييز البكتريا من بقية أقسام الكائنات الدقيقة .

وفى العقد الأخير من القرن الميلادى الماضى احتدمت مناقشات حادة داخل الأكاديمية الفرنسية للعلوم — التى كان لويس باستير عضواً بها — حول إمكانية نشوء الحياة تلقائياً من وسط غير حى . وقد حسمت نتائج البحوث التى أجراها باستير هذه المناقشات حسما قاطعاً بإثباته أن أية كائنات حية لا يمكن أن تنشأ إلا من كائنات حية سابقة لها ، تستوى فى ذلك البكتريا وغيرها ، كيرقات الحشرات مثلا ، وأن المادة العضوية فى حد ذاتها لا يمكن أن تنتج بكتريا ولا يرقات حشرية جديدة ، وأنه لا بد من وجود أسلاف من نفس أنواع هذه الكائنات الحية هى المسئولة عن إنتاجها بالتناسل . وقد أجريت سلسلة طويلة من التجارب فى معمل باستير أمكن بواسطتها توضيح دور البكتريا ونبات الخميرة فى عمليات التخمر والتعفن وإحداث الأمراض .

وكانت النظرية السائدة قبل عهد باستير هى التى وضعها العالم الألمانى جوستوس فون ليبج (Justus von Liebig) وزعم فيها أن عملية التخمر إن هى إلا عملية كيميائية بحتة ، ولكن باستير نقض تلك النظرية ، وأثبت بالتجربة اليقينية أن التخمر عملية أحيائية يرتبط حدوثها بنمو ونشاط كائنات دقيقة ، ونجح فى فصل تلك الكائنات والتعرف عليها ، والحصول على مزارع نقية منها استطاع بها أن يحدث عمليات التخمر صناعياً .

انتشار البكتريا :

هذه الكائنات الدقيقة المعروفة بالبكتريا منتشرة حولنا فى كل مكان ، فهى موجودة فى الماء والهواء والتربة ، كما توجد أيضاً على أسطح أجساد الحيوانات والنباتات وكل ما تلمسه أيدينا من أشياء . حتى الأطعمة والألبان لا تخلو منها ما لم يكن قد سبق تعقيمها . ولقد عرضت بعض الجراثيم البكتيرية لدرجة من التبريد قاربت الصفر المطلق فلم يقتلها ذلك البرد الشديد . والبكتريا موجودة بشكل طبيعى فى القنوات الهضمية للإنسان ومختلف أنواع الحيوان ، كما أن البكتريا المثبتة للنتروجين مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالخلايا الحية فى جذور بعض النباتات الزهرية ، كنباتات الفصيلة القرنية وغيرها ، ولكن تخلو منها عادة المياه الباردة الموجودة فى الآبار والينابيع العميقة ، وبينما تزخر بالبكتريا بضعة السنتيمترات السطحية من أية تربة خصبة يلاحظ أن أعدادها تتناقص كلما زاد العمق .

وبالرغم من انتشار البكتريا فى الكون على هذا النطاق الواسع الذى بيناه ، فإن من الممكن إذا أخذت احتياطات بالغة الدقة توفير وجود غرف خالية منها خلواً يكاد يكون تاماً ، ومن ذلك ما يجرى فى غرف العمليات الجراحية بالمستشفيات وفى بعض أنواع المختبرات البيولوجية والبكتريولوجية . فى مثل هذه الغرف تغسل الجدر الداخلية بمحاليل معقمة ، ويلبس مرتادوها ملابس معقمة ، وتستعمل آلات سبق غليها فى الماء فترة كافية لتعقيمها ، حتى هواء تلك الغرف يمكن تعقيمه والتخلص مما به من بكتريا بالبخار أو بإشعاعات من مصدر أشعة فوق بنفسجية ، وتشمل عملية التعقيم تحطيم جميع صور الحياة — بما فيها البكتريا — التى يمكن وجودها على سطح المادة المراد تعقيمها أو بداخلها .

زراعة البكتريا :

لقد أدى استكشاف الأمراض البكتيرية فى القرن الماضى إلى إذكاء رغبة ملحة فى عزل كل نوع من أنواع البكتريا عن بقية الأنواع المخالطة له ،

وتعريفها ، ودراسة كل نوع منها على انفراد . ويجب أن نعلم — فى هذا الصدد — أن لوظائف الخلايا البكتيرية من الأهمية فى تصنيف البكتريا والتعرف على مختلف أنواعها مثل ما للصفات الشكلية لهذه الخلايا . ومن أجل تمييز أنواع بكتيرية تتشابه فى أشكالها المجهرية وجد من الضرورى فصلها عن بعضها البعض فى مزارع نقية بكل منها نوع واحد ، والاستعانة بخصائص فسيولوجية للتعرف عليها ، بالإضافة إلى الصفات المورفولوجية لخلاياها ويمكن تعريف المزرعة النقية (Pure culture) بأنها تلك المكونة من نوع واحد من الكائنات الحية ينمو على وسط غذائى تحت ظروف من التعقيم (Sterile conditions) لا تسمح بتسرب كائنات حيـــة غريبة . كما يجب أن تحتوى المزرعة أيضاً على مصدر للطاقة ومصادر للكربون والنتروجين وغيرهما من العناصر الأساسية اللازمة لنمو الكائن الذى يزرع نمواً حسنا ، يضاف إلى ذلك ما يحتاجه الكائن المزروع من منشطات النمو كالفيتامينات .

وبجانب المحاليل الغذائية المائية تستعمل لإنماء البكتريا — لدراسة خواصها المزرعية والفسيولوجية . منابت غذائية صلبة ، وذلك بأن يضاف إلى المحلول الغذائى المائى مادة لها القدرة على السيولة بالتسخين والتصلد إذا بردت ، مثل الأجار (Agar) والجيلاتين . وتجرى عملية زراعة البكتيرة بأن ينشر فوق سطح الوسط الغذائى المتصلد المعقم — الذى سبق صبه فى أطباق بترى — معلق مخفف أشد التخفيف من خلايا البكتيرة المراد زراعتها ، وفائدة التخفيف الشديد أن تنمو كل خلية بعيدة عن الأخرى على سطح الوسط الغذائى ، وتنمو كل خلية من هذه الخلايا وتتكاثر إلى أن يصبح نتاج كل خلية كتلة واضحة من الخـــلايا يطلق عليها اسم مستعمرة (Colony) تصل من كبر الحجم إلى حد أن تصبح مرئية بالعين المجردة . وتنشأ خلايا أية مستعمرة من خلية والدة واحدة بسلسلة من عمليات تكاثر لا جنسى متعاقبة . وتكون جميع خلايا المستعمرة عادة متماثلة .

وتختلف فى خصائصها مستعمرات الطرز المختلفة من البكتريا ، إما من حيث اللون وإما من حيث الحجم أو القوام أو شكل الحافة ، وكل هذه الاختلافات تساعد فى التعرف على أنواع البكتريا وتصنيفها ، ومن الممكن باستعمال إبرة معقمة أن تنقل على فترات منتظمة بعض الخلايا من إحدى المستعمرات إلى وسط غذائى معقم جديد وتنميتها فيه إلى مستعمرات جديدة وبهذه الطريقة يمكن الاحتفاظ بمزارع نقية لكل نوع من أنواع البكتريا لفترات زمنية غير محدودة . ويطلق على عملية النقل من مزرعة أصلية إلى مزرعة جديدة اسم الاستزراع المتكرر (Subculturing) .

المزارع البكتيرية الإثرائية (Enrichment cultures) :

فى حالات كثيرة يتطلب فصل نوع ما من أنواع البكتريا – أو غيرها من الكائنات بدائية النواة – استعمال وسط غذائى مختار وظروف زراعة مختارة أخذا فى الاعتبار المكونات الغذائية التى يحتاجها (أو لايحتاجها) الكائن البكتيرى المراد فصله ، والظروف المزرعية غير العادية التى يحتاجها أو يحتملها ذلك الكائن . مثل هذه المزرعة يطلق عليها اسم « المزرعة الإثرائية » . مثال ذلك : يمكن فصل الكائنات المثبتة للنتروجين الجوى باستعمال أوساط غذائية مزرعية خالية من المركبات النتروجينية ، وذلك لأن ماعداها من كائنات بدائية النواة لاتستطيع النمو فى الوسط الغذائى ما لم يكن محتويا على مصدر نتروجينى . وبالمثل يلزم لفصل كائنات التربة الدقيقة التى تستطيع تحليل المبيدات الفوسفورية العضوية للآفات (Organo-phosphate pesticides) أن تضاف إلى الوسط الغذائى للمزرعة البكتيرية كميات ضئيلة من المبيد الفوسفورى بحيث لايكون هناك مصدر فوسفورى سواه ، وفى هذه الحالة لن تنمو على المزرعة إلا البكتريا التى تستطيع تحليل المبيد الحشرى واستخلاص الفوسفور اللازم لها منه ، وبذلك تنمو وتتكاثر .

ويتأثر نمو البكتريا بعدة عوامل بيئية وفسيولوجية منها : –

١ - درجة الحرارة : لكل نوع من أنواع البكتريا ثلاث درجات حرارة تحدد نموها ، درجة صغرى (Minimum) لا يبدأ النمو عند درجة أقل منها ، ودرجة مثلى (Optimum) تصل فيها إلى ذروة نموها ، ودرجة قصوى (Maximum) لا تستطيع النمو عند درجة أعلى منها . وتتباين الأنواع المختلفة من حيث مدى درجات الحرارة الذى تستطيع أن تنمو فيه ، فمنها ما تفضل درجات الحرارة المنخفضة ، ومنها ما هى محبة للحرارة ويزدهر نموها عند درجات الحرارة العالية ، ومنها ما هى وسط بين الاثنين ، إذ تفضل درجات الحرارة المعتدلة أو المتوسطة ، أما البكتريا ذات المدى المنخفض فيتراوح مداها بين الصفر المئوى أو ما دونه إلى حوالى ٣٠°م . أما وسطية المدى فيتراوح مداها بين ٢٠° و ٤٠°م ، وهى تشمل الأنواع المسببة للأمراض الإنسانية التى تكون درجة حرارتها المثلى حوالى ٣٧°م ، وهى نفس درجة الحرارة الطبيعية لجسم الإنسان ، أما ذات المدى العالى - أو البكتريا المحبة للحرارة - فيتراوح مداها بين ٢٥°و ٦٠°م ، وهى تسبب أمراضا جسيمة ، حيث تلوث الألبان والأغذية المحفوظة بسبب قدرتها على مقاومة درجات الحرارة العالية .

٢ - الأرقام الإيدروجينية (pH values) : يعد الرقم الإيدروجينى بمثابة مقياس لدرجة التركيز الإيدروجينى ، ويعد المحلول « متعادلا » من حيث القلوية والحامضية إذا كان رقمه الإيدروجينى ٧ ، فإذا زاد عن ذلك كان المحلول قلويا وإذا نقص عن ذلك كان حامضيا . ولكل نوع من أنواع البكتريا مدى محدد من الأرقام الإيدروجينية - شبيه بالمدى السابق لدرجات الحرارة - يستطيع فيه أن يواصل نموه . والرقم الإيدروجينى الأمثل لنمو غالبية البكتريا يتراوح بين ٦ ، ٨ ، أما الأرقام الإيدروجينية الصغرى والقصوى فتختلف باختلاف الأنواع البكتيرية . ويقع مدى النمو فى غالبية الأنواع بين الرقمين الإيدروجينيين ٤ ، ٩ .

٣ - العناصر الغذائية : يتوقف نمو البكتريا على ماهية العناصر الغذائية الداخلة

فى تركيب المنبت الغذائى الذى تعيش فيه ودرجات تركيزها . ومن أهم العوامل الغذائية النسبة بين المركبات الكربونية والنيتروجينية .

٤ - الأكسجين : بعض أنواع البكتريا لاتستطيع النمو إلا فى وجود الأكسجين ، وتعرف مثل هذه البكتريا « بالهوائية الإجبارية » (Obligate aerobes) ، وهناك أنواع أخرى لاتستطيع النمو إلا فى غياب الأكسجين وتعرف باللاهوائية الإجبارية (Obligate anaerobes) ، ومنها ماتستطيع النمو سواء كان الأكسجين موجودا أو غائبا ، وتعرف باللاهوائية الاختيارية (Facultative anaerobes) ، ويمثل هذا الطراز غالبية أنواع البكتريا وهى التى تنمو بسهولة تحت الظروف الهوائية ، وتستطيع أيضاً أن تنمو وتتكاثر إذا قدر لها أن تعيش فى غياب الأكسجين .

٥ - الضغط الأوزموزى : تختلف أنواع البكتريا من حيث قدرتها على تحمل الضغوط الأوزموزية العالية ، فمنها ما تستطيع أن تعيش فى مياه البحار ، ومنها ما تتأقلم لاحتمال الضغط الأوزموزى العالى فى البحيرات المالحة ، كما أن هناك من الأنواع ما تستطيع أن تكيف نفسها لاحتمال التغيرات الكبيرة فى الضغوط الأوزموزية . ولما كان الضغط الأوزموزى العالى مانعا لنمو غالبية البكتريا فقد استغل صناعيا فى تحضير الفواكه المسكرة والمربات والشربات واللحوم المملحة المحفوظة .

٦ - الضوء : تحتاج البكتريا المعروفة باسم ضوئية التغذية الذاتية (Photoautotrophs) إلى الضـــوء لنموها وتكوينها ، أما ما عداها من بكتريا فتفضل الظلام لأن الضوء ضار بها ويسبب قتلها فى بضع ساعات ، ولا تؤثر ألوان الطيف الشمسى على البكتريا بدرجة واحدة ، فبينما لاتبدى الأشعة الخضراء والحمراء أى تأثير ، فإن الأشعة الزرقاء والبنفسجية وفوق البنفسجية تبيد البكتريا فى وقت وجيز ، وقد استغل تأثير الأشعة فوق البنفسجية فى علاج بعض الأمراض البكتيرية وفى تعقيم المـــاء .

٧ ـ **الرطوبة :** تحتاج البكتريا إلى رطوبة لكى تواصل نموها وتقوم بأوجه نشاطها ، لأن وسطها الطبيعى هو وسط مائى ، يعمل على احتفاظ خلاياها بمحتواها المائى ، كما يمكنها من امتصاص مواد غذائها من المحلول بالانتشار ، مثلها فى ذلك مثل غيرها من النباتات ، ولما كان التجفيف ضارا بالبكتريا ومانعا لنشاطها فقد استغله الإنسان كوسيلة لحفظ بعض الأطعمة .

أشكال وأحجام البكتريا :

معظم البكتريا وحيدة الخلية ، وخلاياها على أربعة أشكال : (أ) كروية ، (ب) قصبية أو عصوية ، (ج) منثنية أو حلزونية ، (د) اولبيه (شكل ١٣٦) ولابد من التنويه بأن هذه الاختلافات فى أشكال الخلايا ليست مطلقة ولا تحدد مجموعات تصنيفية بعينها ، ولكنها مجرد تقسيمات وصفية مفيدة. وتختلف أقطار البكتريا الكروية مابين ٠,٢ من الميكرون وأربعة ميكرونات . أما العصوية والمنثنية واللولبية فإنها تشبه البكتريا الكروية فى عرضها ولكنها تزيد عليها فى الطول ، وقد يصل طول بعضها أحيانا إلى ٤٠ ميكرونا ، وهناك بين بكتريا الكبريت أنواع يصل طولها إلى ٦٠ ميكرونا وعرضها إلى ٢٥ ميكرونا ، ومن بين أنواع البكتريا اللولبية (السبيروكيتات) ما يصل طوله إلى ٥٠٠ ميكرون وتظل مع ذلك رفيعة جداً ومحدودة العرض . وهناك تداخل بين هذه الأشكال الأربعة الرئيسية حتى ليتعذر أحيانا تمييز البكتيرة الكروية من العصوية

(شكل ١٣٦)

طريقة انتظام الخلايا البكتيرية : (ا) كوكس ، (ب) ديبلو كوكس ، (ج) ستربتوكوكس ، (د) ستافيلوكوكس (هـ) سارسينا ، (و) باسيلس ، (ز) ديبلوباسيلس (ح) ستربتوباسيلس ، (ط). سبيريللم (ى) ديبلوسبيريللم . (من السكسوبولوس) .

إذا كانت الأخيرة قصيرة شديدة القصر ، وقد يحسب الفاحص الخلية البكتيرية الكروية خلية عصوية عندما تستطيل بعض الشيء استعدادا للانقسام إلى خليتين . فضلا عن ذلك لوحظ أن شكل الخلية يتوقف أحيانا على عمرها والوسط الذى تعيش فيه .

وفيما يلى مزيد من التفصيلات عن أشكال الخلايا البكتيرية وتجمعاتها :

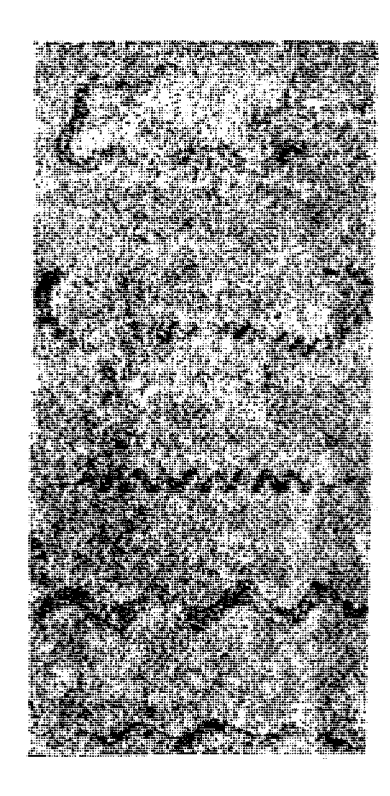
١ - البكتريا الكروية « كوكس » (Coccus) : وهى إما أن توجد فرادى ، وإما أن تظل متصلة بعد أول انقسام فى أزواج مكونة بكتيرة كروية ثنائية أو « دبلوكوكس » (Diplococcus) ، الذى تسبب بعض أنواعه أمراض الالتهاب الرئوى والالتهاب السحائى والسيلان عند الإنسان وإما أن تنتظم فى رباعيات كبكتيرة كروية رباعية أو « تتراكوكس » (Tetracoccus) ، وإما أن تنتظم فى مكعبات أو مضاعفاتها كما فى جنس « سارسينا » (Sarcina) . وتنتج المجاميع الرباعية والمكعبة من توالى تعامد المستويات المتتابعة للانقسامات الخلوية ، أما إذا كانت مستويات هذه الانقسامات متوازية فتتكون سلسلة أو (سبحة) من البكتريا الكروية ، كما فى البكتيرة الكروية السبحية أو « ستربتوكوكس » (Streptococcus) الذى يضم بعض أنواع تسبب أمراضا خطيرة للإنسان ، مثل الحمى القرمزية وحمى النفاس والحمرة والتهاب اللوزتين . أما إذا حدث الانقسام دون انتظام وظلت الخلايا الناتجة متصلة فتتكون مجموعة غير منتظمة من الخلايا الكروية تتخذ شكل عنقود العنب ، ومن ثم يطلق عليها اسم البكتيرة العنقودية أو « ستافيلوكوكس » (Staphylococcus) ، الذى تسبب بعض أنواعه تقيحات كالدمامل والخراجات .

٢ - البكتريا القصبية أو العصوية « باسيلس » (Bacillus) : وهى على هيئة عصى قصيرة ، وأحيانا طويلة نسبيا . ومن أمثلة الأمراض التى يسببها بعضها حمى التيفويد والدوسنطاريا والدفتريا ، وقد تتجمع العصويات فى أزواج كما فى جنس « دبلوباسلس » (Diplobacillus) أى البكتيرة

العصوية الثنائية ، أو تتصل بأطرافها لتكوين سلسلة أوسبحة ، كما فى جنس « ستربتوباسيلس » (Streptobacillus) أو البكتيرة العصوية السبحية .

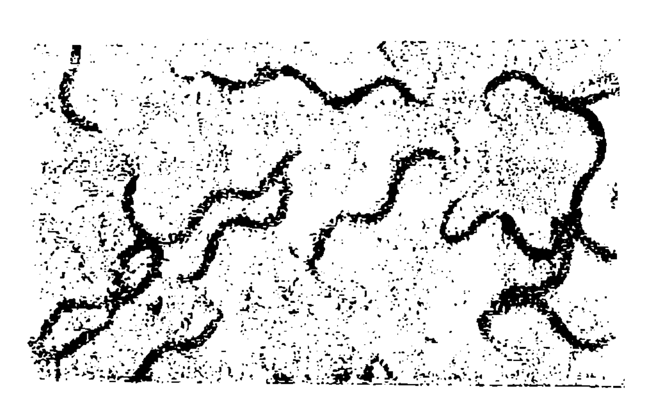
٣ — البكتريا المنثنية : وهى حلزونية الشكل أو منثنية ، وتختلف فيما بينها من حيث أشكالها وتركيبها وطريقة حركتها ، وتشتمل على الطرازين الآتيين :

(شكل ١٣٨)



رسوم تخطيطية لأنواع مختلفة من البكتيريا المنثنية (عن كروجو) .

(شكل ١٣٧)



أحد أنواع جنس سبيريلم

(أ) بكتريا حلزونية (Spirillum) : وهى حلزونية الشكل متصلبة الجدار ، تتحرك غالبيتها بواسطة أسواط شكل (١٣٧) .

(ب) بكتريا ضمية (Vibrio) : وهى واوية أو ضمية الشكل متصلبة الجدار ، وتتحرك بأسواط ، ويسبب أحد أنواعها مرض الكوليرا .

٤ — البكتريا اللولبية (Spirochaete) : وهى لولبية (شكل ١٣٨) يعوزها جدار متصلب ، ليس لها أدوات حركة كالأسواط ولكنها تتحرك كالديدان بالتلوى والأنثناء ، ويسبب أحد أنواعها المعروف علميا باسم « تريبونيما باليدم » (Treponema pallidum) مرض الزهرى .

وثمة شكل خامس من أشكال البكتريا يتمثل فى البكتريا الخيطية (Filamentous bacteria) ، ويضم أنواعا وحيدة الخلية إلا أنها أكبر حجما

من البكتريا العصوية ؛ وتظهر ميلا للتفرع لتكوين خيط بدائى ، ومن ثم تتخذ الخلية أشكال الحروف X ، Y ، L كما فى جنس البكتيرة الفطرية (Mycobacterium) ، التى تسبب بعض أنواعها أمراض الدرن والجذام. أما فى الأجناس الأخرى من البكتريا الخيطية ، مثل جنس « ستربتومايسيس (Streptomyces) أو الفطرة السبحية ، فيتكون خيط متفرع واضح شبيه بالخيوط الفطرية ؛ وتنتج الأنواع المختلفة من جنس ستربتومايسيس الكثير من المضادات الحيوية (Antibiotics) ، وهى المجموعة التى يطلق عليها اسم الميسينات (Mycines) مثل الستربتومايسين والكلوروميسيتين وأشباههما .

تركيب الخلية البكتيرية

لما كانت غالبية الخلايا البكتيرية عديمة اللون فلا بد عند فحصها من استعمال أصباغ خاصة لتلوينها حتى يمكن استجلاء تفاصيل تركيبها .

الجدار الخلوى :

لا يوجد جدار خلوى لجميع أنواع البكتريا ، ولكنه — إن وجد — يكون على شكل كيس يحيط بالبروتوبلاست ويطلق عليه اسم المادة التى يتكون منها وهى ببتيدوجليكان (Peptidoglycan) . وتنقسم البكتريا من حيث وجود الجدار الخلوى أو عدم وجوده ، ومن حيث تركيب الجدار — إن وجد — وخصائص اصطباغه إلى ثلاثة أقسام ، وهى :

١ — **ميكوبلازمات** (Mycoplasmas) : وهى التى لا يغلفها جدار .

٢ — **بكتريا موجبة لصبغة جرام** (Gram-positive Bacteria) : وقد سميت بهذا الاسم لأنها تصطبغ بلون أزرق مسود إذا عولجت بالصبغة التى اخترعها كرستيان جرام عام ١٨٨٤ ، ولهذا القسم من البكتريا جدار غليظ ، متجانس نسبياً يتركب أساساً من الببتيدوجليكان بنسبة ٤٠—٩٠٪ من الوزن الجاف .

٣ - بكتريا سالبة لصبغة جرام (Gram -negative Bacteria) : وهى التى لا تتقبل الاصطباغ بتلك الصبغة . والجدر الحاوية فى هذا القسم أرق منها فى القسم السابق ، وهى جدر مزدوجة من طبقتين : الداخلية من ببتيدوجليكان والخارجية غشاء مكون من بروتينات وفوسفوليبيدات وعديدات تسكر ، وهى ذات جزيئات معقدة يزيد وزنها الجزيئى على ١٠٠٠٠ ، وتصل ثخانة طبقتى الجدار معاً إلى ١٠ ملليميكرونات ، بينما يتراوح سمك الجدار المتجانس فى البكتريا الموجبة لصبغة جرام ما بين ١٠ ، ٥٠ ملليميكرونا ويأتى تأثير عقار البنسلين كمضاد حيوى من كونه يمنع تخليق الببتيدوجليكان .

ولخصائص الجدار الخلوى أهمية كبرى فى تصنيف البكتريا ، وعلى أساس هذه الخصائص أمكن تقسيمها إلى الأقسام الثلاثة السابقة .

وهناك بعض شواذ مثل جنسى هالوكوكس (Halococcus) وهالوباكتريم (Halobacterium) لا تحتوى جدرهما على جزئ الببتيدوجليكان ولكن خلاياهما لا تحتفظ بتكاملها التركيبى إلا إذا وجدت فى محاليل ملحية عالية التركيز .

والتركيبة الأساسية المتكررة فى جزئ الببتيدوجليكان هى وحدتان من الجلوكوز تتصل بهما سلسلة جانبية من عدة أحماض أمينية .

وتحيط بالجدار الخلوى فى كثير من أنواع البكتريا طبقة هلامية (Slime layer) قد تبلغ من السمك والمتانة بحيث تكون كتلة كبيرة حول الخلية تعرف بالكبسولة (Capsule) وتسمى البكتيرة المحاطة بكبسولة « بكتيرة مكبسلة » (Capsulated) . وتستغل الكبسولة فى أنواع البكتريا المسببة للأمراض كوسيلة لمقاومة الآلية الدفاعية التى تستحثها الأجساد الحية المصابة ضد الميكروبات .

والغلاف الكبسولى الذى يحيط بالخلية البكتيرية إما أن يظل متميزاً ومتماسكاً وإما أن يذوب وينتشر فى الوسط المحيط بالخلية كمادة هلامية أو مخاطية ، وغالباً ما يكون الغمد الجيلاتينى مكوناً من إحدى عديدات التسكر - مع اختلاف عديد التسكر فى الأنواع المختلفة من البكتريا . ولكن فى بعض

البكتريا تكون الكبسولة بروتينية ، وقد يدخل فى التركيب الكيميائى للغمد أيضاً بعض الفوسفوليبيدات ومركبات الحديد وعديدات الببتيدات .

الأسواط (Flagella) :

بعض البكتريا تكون عديمة الحركة ، وكثير غيرها تكون مزودة بأسواط تسبح بها فى الوسط السائل الذى تعيش فيه ، وتمثل تلك الأسواط امتدادات تبرز من سطح الخلية ، وتخترق جدارها ، وتتصل بالغشاء البلازمى عن طريق جزء قاعدى منها متخصص خطافى الشكل ، والبكتريا ذوات الأسواط يتراوح عدد أسواطها بين سوط واحد وعدة أسواط ، وتكون مرتبة فى مواضع خاصة على سطح الخلية تختلف باختلاف الأنواع ، وتحرك الأسواط الخلايا بحركة دورانية ، وهناك قلة من البكتريا تشبه الطحالب الخضر المزرقة فى عدم تحركها بأسواط ولكن بالزحف (gliding) . ولا يصاحب خاصة التحرك فى هذه البكتريا الزاحفة وجود أية زوائد خاوية مختصة بهذه العملية ، ولو أن معظمها تفرز مواد مخاطية (Mucilage) وتترك أثراً مخاطياً على طريق حركتها .

وبالإضافة إلى الأسواط توجد تراكيب تشبه الشعر وتعرف باسم سويطات (Pili) ، تبرز من سطح الخلية البكتيرية ، وهى أصغر حجماً من الأسواط ، ولا يمكن رؤيتها إلا بالمجهر الإلكترونى ، وتوجد هذه السويطات بنوع خاص فى البكتريا السالبة لصبغة جرام ، بما فيها تلك الأنواع الموجودة بالقنوات الهضمية للإنسان والحيوان مثل بكتيرة إيشريشيا كولاى . ومن السويطات البكتيرية المتخصصة تلك التى توجد فى أنواع البكتريا التزاوجية ، وتساعد على انتقال المادة الوراثية بين الخلايا المتزاوجة .

وتتكون الأسواط والسويطات من وحدات ثانوية بروتينية مرتبة فى نظام قوقعى حول تجويف مركزى ، وتختلف أنواع البروتينات فى أسواط وسويطات الأنواع المختلفة من البكتريا . وأسواط الكائنات بدائية النواة أبسط تركيباً ومختلفة اختلافا أساسياً عن أسواط الكائنات حقيقية النواة .

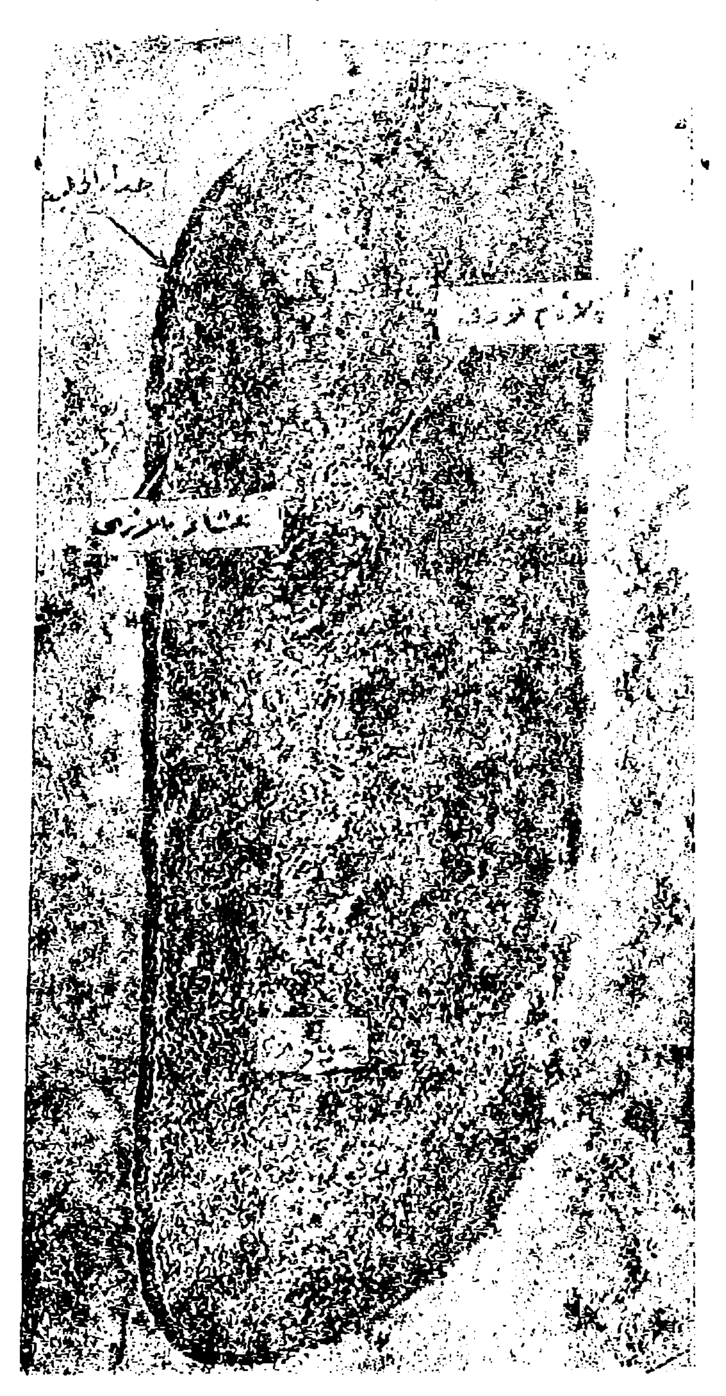
ويعتبر الجدار الخلوى ومكونات سطح الخلية البكتيرية من الأهمية بمكان من حيث ارتباطها بآلية دفاع الجسم الإنسانى ضد البكتريا الممرضة ، ذلك أن الكثير من الأجسام المضادة (Anti-bodies) التى يكونها الجسم الإنسانى بعد مهاجمة البكتريا له تكون موجهة للعمل ضد جزئيات الكبسولات أو جزئيات الأسواط أو جزئيات الجدار الخلوى ، والكثرة من المضادات الحيوية المستخدمة فى علاج الأمراض البكتيرية تحدث تأثيرها بالتدخل فى تخليق الجدار الخلوى البكتيرى ، مما يترتب عليه توقف النمو أو تفتت الخلايا ، ومن أمثلة ذلك ما سبق ذكره من تدخل البنسلين لمنع تكوين الببتيدوجليكان الذى يعتبر المكون الأساسى للجدر الخلوية البكتيرية ، ويؤثر هذا المضاد الحيوى بنوع خاص فى إيقاف نمو البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل أنواع جنس ستافيلوكوكس . وبوجه عام تكون المركبات الدوائية التى تؤثر على تخليق مكونات الجدار الخلوى للكائنات بدائية الأنوية ، أو على مسارات تفاعلات كيمو-حيوية خاصة بتلك الكائنات ، هى وحدها التى ينصح باستعمالها فى علاج الأمراض البكتيرية ، ذلك لأن تلك المركبات لا تأثير لها على أيض خلايا العائل ، أى أن مثل هذه المضادات الحيوية تكون انتخابية فى تأثيرها ، بحيث لا تؤثر إلا على الخلية بدائية النواة .

المكونات الداخلية للخلية البكتيرية :

يستقر البروتوبلازم داخل جدار الخلية ، ويتكون من غشاء بلازمى خارجى شبه منفذ ، ومن سيتوبلازم وجسم نووى أى شبه نواة أو بلازم نووى (Nuclear body, nucleoplasm, nucleoid) . ويتركز عادة وجود مادة « د ن أ » (DNA) فى شبه النواة التى تبدو تحت المجهر الإلكترونى أقل كثافة من بقية الخلية ، (شكل ١٣٩) و (شكل ١٤٠) . وتتخذ شكل لييفات إذا اتبعت تقنية معينة فى إعداد التحضيرات المجهرية . وشبه النواة هنا لا يحدها أو يغلفها غشاء نووى ، كما أنه لا توجد شبكة إندوبلازمية (Endoplasmic

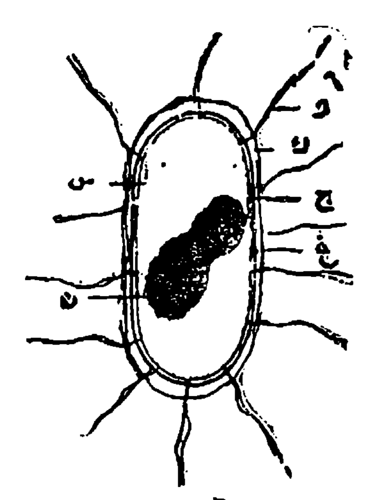
reticulum) فى سائر الخلايا بدائية النواة ، وجميع الريبوسومات (Ribosomes) توجد طليقة داخل السيتوبلازم فيما يحيط بمنطقة شبه النواة . وتختلف الريبوسومات فى الخلايا بدائية النواة عنها فى الخلايا حقيقية النواة فى

(شكل١٣٩)



قطاع طولى فى خلية البكتيرة « باسيلس سبتيلس » Bacillus subtiilis (٨٠,٠٠٠)

(شكل ١٤٠)



رسم تخطيطي لتركيب الخلية البكتيرية ، ويرى : (و) السوط ، (ك) الكبسولة ، (ج) الجدار ، (غ) الغشاء البلازمي ، (س) السيتوبلازم ، (ن) المادة النووية (عن بولد) .

كونها أصغر منها ، حيث يصل قطرها إلى ١٥ مليميكرونا بينما هي فى حقيقيات النواة لا تقل عن ٢٠ ملليميكرونا ، كما أن عضيات البروتين و (ر ن أ) RNA تختلف عن نظائرها فى حقيقيات الأنوية ، وهناك اختلافات أخرى فى آليات التمثيل البروتيني . ويبدو السيتوبلازم حبيبياً نظراً لوجود الريبوسومات فيه بغزارة وكذلك وجود حبيبات كثيرة من مواد مدخرة .

المواد المدخرة فى الخلايا :

تستطيع الخلايا بدائية النواة — مثلها كمثل الخلايا حقيقية النواة — أن تجمع فى سيتوبلازما حبيبات من مواد مدخرة مثل الجليكوجين ، ولكن تلك الحبيبات لا تكون موجودة فى عضيات ذوات أغشية ، كما هو الحال فى الخلايا حقيقية النواة ، والسيتوبلازم البكتيرى أقل تعضيا منه فى الخلايا حقيقية النواة ، إذ يوجد به ريبوسومات وأنواع مختلفة من الحبيبات من بينها مواد كربوإيدراتية عديدة التسكر (Polysaccharides) ، كما توجد دائماً

حبيبات الحامض النووى الريبوزى (RNA) ، ولكن لا توجد عضيات الميتوكوندريات ولا البلاستيدات ولا أجسام جولجى .

والغشاء البلازمى الذى يحد السيتوبلازم من الخارج غشاء منفرد ؛ ويوجد أيضاً فى الغالب غشاء منفرد آخر خارج طبقة الجدار المكون من الببتيدوجليكان ، والبكتيريا التى لها جدر ولكن لا يغلفها هذا الغشاء البلازمى تتجمع على سطحها صبغة جرام وتحتفظ بها إذا عرضت لها ، ومن ثم يطلق عليها اسم البكتريا الموجبة لصبغة جرام . وعلى العكس ، لا تتجمع على سطح الخلايا غير المغلفة بغشاء بلازمى صبغة جرام ، ومن ثم توصف بأنها سالبة لصبغة جرام .

المادة الوراثية داخل الخلايا البكتيرية :

تحتوى الكتلة الحية (البروتوبلاست) للخلية البكتيرية على عضى يحمل الحمض النووى « د ن أ » (DNA) ، وينقسم عادة فى نفس الوقت الذى تنقسم فيه الخلية البكتيرية ، وأحياناً فى وقت سابق لموعد انقسام الخلية ، وفى تلك الحالة الأخيرة تظهر بداخل الخلية الواحدة عدة عضيات من طراز ذلك العضى الحامل للحامض النووى (د ن أ) كلها متشابهة .

وقد أطلق على هذا العضى الحامل للحامض النووى (د ن أ) اسم « نواة » أو « شبه نواة » ، واعتبر هو الأصل الذى تطورت منه النواة فى الخلية حقيقية النواة ، وهو يتكون من قوقع مزدوج طويل من مادة (د ن أ) يمثل جزيئاً بالغ الكبر من تلك المادة . ويمكن أن يوصف شريط الـ (د ن أ) فى الخلية البكتيرية بأنه دائرى لعدم وجود طرفين خالصين له ، ولأنه شريط متصل يمثل تركيباً مغلقاً ، ولكنه ليس دائرى الشكل تماماً بالمعنى الهندسى . وهو يختلف عن الكروموسوم فى الخلايا حقيقية النواة من حيث شكله الدائرى وعدم وجود بروتينات فى تركيبه الأساسى . هذا — وكما سبق القول — لا يوجد فى البكتريا على الإطلاق أى تركيب مقابل للغشاء النووى

فى الخـــلايا حقيقية النواة ، ولا مقـــابل للنوية (nucleolus) ولا للعصير النووى (nuclear sap) ، وكلها مكونات أساسية للنواة فى الخلايا حقيقية النواة ، وهناك اتجاه فى الوقت الحاضر نحو تسمية هذا العضى الحامل لا DNA فى البكتريا اسم « صبغى » أو « كروموسوم » .

وبالإضافة إلى هذا الصبغى الدائرى المغلق يوجد الكثير من الخلايا البكتيرية بها واحد أو أكثر من عضيات دائرية أيضاً حاملة (د ن أ) ولكنها أقصر كثيراً من الكروموسوم سالف الذكر ، يطلق عليها اسم بلازميدات (Plasmids) ، وهـــذه البلازميدات لهـــا هى الأخرى تركيب قوقعى مزدوج كما فى كروموسومات الخلايا البكتيرية والخلايا حقيقية النواة على السواء .

الحركة فى البكتريا :

تختلف الأنواع المختلفة من البكتريا من حيث قدرتها على الحركة ، فمنها ما هى عديمة الأسواط (Atrichous) لا تستطيع الحركة ، ومنها ما هى

(شكل ١٤١)

(أ) (ب) (ج) (هـ) (د)

طرق انتظام الأسواط فى البكتيريا المتحركة : (أ) وحيدة السوط ، (ب، هـ) سوطية الطرف ، (ج) سوطية الطرفين ، (د) محيطية الأسواط (عن الكسوبولوس).

مزودة بأعضاء حركة على هيئة « أسواط » (Flagellae) تمكنها من الانتقال والتحرك فى الأوساط المائية ، وتشمل البكتريا المسوطة (أى ذوات الأسواط) حوالى نصف أنواع البكتريا العصوية وغالبية البكتريا الحلزونية والضمية ، أما البكتريا الكروية فلا تزود بأسواط إلا قلة ضئيلة منها . ويختلف عدد الأسواط حسب نوع البكتيرة ، فمنها ما لا يحمل سوى سوط واحد ومنها ما يحمل اثنى عشر سوطاً أو أكثر . ويتميز كل نوع من أنواع البكتريا المسوطة بثبوت عدد الأسواط ومواضعها من جسم البكتيرة وترتيبها ، مما يعد صفة على أكبر جانب من الأهمية من الوجهة التصنيفية . ويمكن تمييز الطرز الآتية من البكتريا حسب توزيع الأسواط (شكل ١٤١) .

(أ) وحيدة السوط (Monotrichous) ، وفيها يخرج سوط واحد من أحد قطبي الخلية .

(ب) سوطية الطرف (Lophotrichous) ، وفيها تخرج حزمة سوطية من قطب واحد .

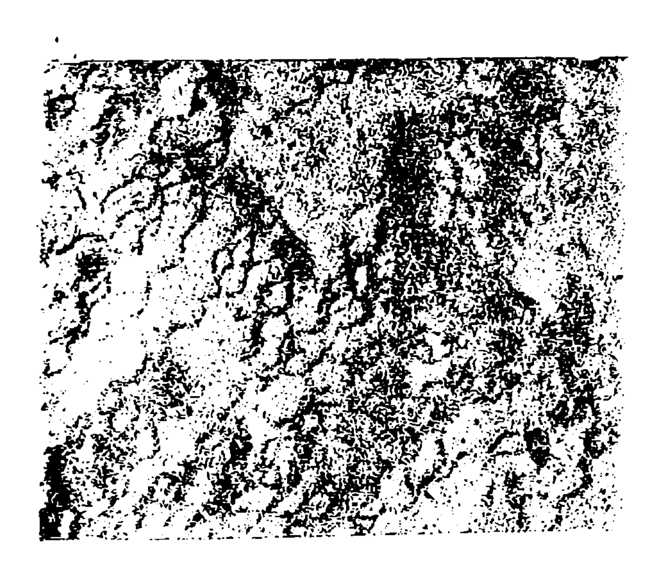
(ج) سوطية الطرفين (Amphitrichous) ، وفيها يخرج سوط واحد أو حزمة سوطية من كل قطب من قطبي الخلية .

(د) محيطية الأسواط (Peritrichous) ، وفيها تنتشر الأسواط حول جميع سطح الخلية البكترية . وغالبية البكتريا العصوية المتحركة تكون محيطية الأسواط ، بينما تكون البكتريا الحلزونية والضمية عادة وحيدة السوط .

أحجام البكتريا :

تعد البكتريا من الضآلة بمكان ، ولنضرب مثالين لتوضيح مدى ضآلتها : المثال الأول أن البوصة المكعبة تستطيع أن تحتوى بداخلها على تسعة ترليونات (١٠٩) خلية من البكتريا العصوية المسببة لمرض التيفوئيد ، وهى المعروفة علمياً باسم **(Salmonella typhosa)** (شكل ١٤٢)

(شكل ١٤٢)



بكتيرة سالمونيلا تيفوزا Salmonellaa typhosa المسببة لمرض التيفود .

لاحظ الأهداب الطويلة (× ٦٠٠٠)

والمثال الثانى أن أربعمائة مليون بكتيرة يمكن أن تشغل حجم حبة صغيرة من حبات السكر الخشن ، وتقاس أبعاد البكتيريا بالميكرونات (microns) والميكرون = جزءاً من ألف جزء من الملليمتر — ويتراوح قطر البكتيريا الكروية بين نصف ميكرون وأكثر قليلا من الميكرون ، أى أنها إذا كبرت ألف مرة فلا تبدو أكثر من نقطة فوق صفحة مطبوعة ، ولو صفت جنباً إلى جنب لاحتاج صف منها طوله بوصة واحدة إلى ٢٥٠٠٠ خلية . أما البكتريا العصوية فيتراوح اتساع كل واحدة منها بين نصف ميكرون وميكرون والطول ما بين ١,٥ ميكرون وأربعة ميكرونات . وتختلف البكتريا الحلزونية كثيراً من حيث طولها الذى يتراوح بين بضعة ميكرونات إلى حوالى العشرة ، وتتميز البكتيريا اللولبية بأنها طويلة نسبياً ، إذ يزيد طولها عادة على السبعة ميكرونات ، أما البكتريا الضمية فيكون طولها عادة أقل من ثلاثة ميكرونات . ويتراوح طول البكتيريا الخيطية ما بين العشرين والمائة ميكرون أو أكثر .

أقسام البكتريا :

قبل عام ١٨٥٠ لم يكن يخطر ببال أحد أن البكتريا يمكن أن تسبب أمراضاً ، وفي عام ١٨٥٠ لاحظ اثنان من الباحثين الفرنسيين وجود أعداد كبيرة من مرئيات دقيقة مجهرية الحجم عصوية الشكل في دم ماشية كانت قد أصيبت بمرض الجمرة الخبيثة وماتت بسببها ، ثم اتضح بعد ذلك أن تلك الجسيمات العصوية ، التي أصبحت تعرف الآن باسم (Bacillus anthracis) إنما هي كائنات حية توجد دائماً في الحيوانات المصابة بمرض الجمرة . وفي عام ١٨٧٦ استطاع روبرت كـوخ (Robert Koch) الطبيب البكتريولوجي الألماني الذي عاش فيما بين عامي ١٨٤٣ ، ١٩١٠ (شكل١٤٣) أن يحسم موضوع العلاقة بين الكائن العصوي الدقيق ومرض الجمرة الذي يصيب الماشية ، وذلك بأنه استطاع أن يعزل البكتيرة في منابت غذائية نقية وأن يحدث بها المرض في الماشية بحقنها مباشرة في مجرى الدم منها . وكان باستير قبل ذلك بعدة سنوات قد اكتشف مرضاً ذا طبيعة بكتيرية يصيب دودة القز ولكن تفسيراته لتلك الظاهرة لم تستبعد احتمال وجود مسبب آخر للمرض ، ولهذا يرجع الفضل إلى كوخ في تقديم أول دليل واضح راسخ على أن أمراضاً يمكن أن تحدثها البكتريا .

ومن بعض أمثلة الأمراض التي تسببها البكتريا أمراض الدفتريا



(شكل ١٤٣)
روبرت كوخ

(Diphtheria) والسيلان (Gonorrhea) والجـذام (Leprosy) والنيمونيا أو ذات الرئة (Pneumonia) والطاعون (Plague) والحمى القرمزية (Scarlet fever) والـزهرى (Syphilis) وحمى التيفوئيد (Typhoid fever) بالإضافة إلى العديد من الأمراض النباتية مثل العفن الطرى (Soft rot) الذى يصيب البطاطس والفاكهة . ويحدث التسمم الغذائى (Botulism) بسبب واحد من أقوى السموم المعروفة نتيجة بكتيرة (كلو ستريديم بوتيوليتم) (Clostridium botulinum) وهى بكتيرة عصوية لا هوائية تستطيع التجرثم . ويزدهر نمو هذا الكائن على اللحوم والأغذية الغنية بالبروتينات مثل البسلة والفول فى غيبة الهواء ، وتقاوم جراثيم هذا الكائن درجات الحرارة التى يتعرض لها الطعام أثناء عمليات تعليب الأطعمة المحفوظة فى المنازل ، على أنه من حسن الحظ أن هذا السم الفتاك يتحطم بسهولة فى درجة الغليان ولذلك ينصح أن تغلى الأطعمة المعلبة فى المنازل لمدة ١٠ — ١٥ دقيقة قبل تناولها أو حتى قبل مجرد تذوقها . أما الأطعمة عالية المحتوى البروتينى التى تعلب فى المصانع على نطاق تجارى فإن درجة حرارتها ترفع أثناء التعليب إلى الحد الذى يحطم جراثيم البكتيرة السامة « كلوستريديم بوتيوليتم » ويمنع أذاها .

البكتريا والمرض :

تشتمل البكتريا — أو الفطريات الانشطارية (Schizomycota) — كما تسمى أحيانا — على المجموعات السبع الآتية من بدائيات النواة : —

١ — بكتريا عادية : وتكون ذوات أشكال عصوية أو كروية ، ومن أمثلتها « إشريشيا كولاى » **(Escherichia coli)** و « باسيلس ميجاثيريم » **(Bacillus megatherium)** .

٢ — بكتريا معنقة (Stalked bacteria) : تكون فيها الخلايا منفردة أو فى مستعمرات ، وتتصل عادة بالطبقة التحتية التى تعيش عليها بواسطة أعناق على أشكال شتى ، مثل جنس كاولوباكتر **(Caulobacter)** .

٣ – **بكتريا متبرعمة** (Budding bacteria) : وتكون فيها الخلايا شبه كروية أو عصوية ، وتتميز أثناء الأنشطار بالانقسام إلى جزءين غير متساويين ، يبدو أحدهما كالبرعم ، وينفصل عن الخلية الأم الأكبر منه حجما ، كما فى جنس رودوميكروبيم **(Rhodomicrobium)** .

٤ – **بكتريا خيطية** (Filamentous bacteria) : تنتظم خلاياها فى سلاسل داخل أغشية مشتركة ، كما فى جنس سفيروتيلس **(Sphaerotillus)** .

٥ – **بكتريا متفرعة** (Branching bacteria) : تبدو كنموات خيطية متفرعة ودقيقة للغاية ، مثل جنس ستربتوميسس **(Streptomyces)** وتنتج بعض أنواعه المضادات الحيوية الميسينية مثل الستربتومايسين والأوريومايسين وغيرهما .

٦ – **بكتريا هلامية** (Slime bacteria) : فى هذه المجموعة تكون الخلايا مرنة ، وتستطيع كل خلية بمفردها الانتقال داخل مجموعتها ، كما تكون مجموعة منها مستعمرة بكتيرية هلامية ، ومن أمثلتها جنس ميكروكوكس **(Micrococcus)** .

٧ – **بكتريا الكبريت** (Sulphur bacteria) : يكون لونها أخضر أو أرجوانيا ، أو تكون عديمة اللون ، ويبدو بعضها متعدد الخلايا وشبيها بالطحالب الخضر المزرقة ، بينما البعض الآخر يكون وحيد الخلية . وعادة ما تتميز خلاياها باحتوائها على حبيبات كبريتية ، مثل جنس ثيوباسيلس **(Thiobacillus)** .

٨ – **متعضيات لولبية** (Spiral organisms) : وتشمل بكتريا حلزونية الشكل ولولبية لها القـــدرة على الحركة ، ومن أمثلتها تريبونيما باليدم **(Triponema palidum)** وهى البكتيرة المسببة لمرض الزهرى .

٩– ميكوبلازمات (Mycoplasmas) : وهذه تعد حاليا أصغر المتعضيات الحاوية الحية ، وتفتقر إلى جدر خلوية ، ولاتحتوى إلا على الحد الأدنى من المكونات الخلوية ، ومن أمثلتها جنس « ميكوبلازما » **(Mycoplasma)** .

طرق التغذية فى البكتريا

تحتاج البكتريا — مثلها كمثل سائر الكائنات الحية — إلى مصدر للكربون وآخر للطاقة ، وعلى أساس نوعيات هذين المصدرين من الاحتياجات الغذائية يمكن تقسيم البكتريا من حيث طرق تغذيتها إلى الأقسام الأربعة الآتية : —

١ — ذاتية التغذية الضوئية (Photoautotrophs) **:** وهى التى تستعمل الضوء كمصدر للطاقة وثانى أكسيد الكربون كمصدر الكربون .

٢ — غير ذاتية التغذية الضوئية (Photoheterotrophs) **:** وهى التى تستعمل الضوء كمصدر للطاقة بينما تستمد الكربون من مركبات عضوية مختلفة (مثل حامض الخليك ك٢ يد٤ ا٢) .

٣ — ذاتية التغذية الكيميائية (Chemoautotrophs) **:** وهى التى تؤكسد مركبات غير عضوية مختزلة مثل النشادر (ن يد٣) والإيدروجين (يد٢) وكبريتيد الأيدروجين (يد٢ كب) ومركبات الحديدوز (ح++) لكى تحصل من أكسدتها على الطاقة اللازمة لها ، بينما تستعمل غاز ثانى أكسيد الكربون كمصدر للكربون .

٤ — غير ذاتية التغذية الكيميائية (Chemoheterotrophs) **:** وهى التى تؤكسد أو تختزل مجموعة من مختلف المركبات العضوية لتحصل منها على الطاقة والكربون معا .

ومعظم البكتريا من الطراز الرابع — أى غير ذاتية التغذية الكيميائية وتستمد الطاقة والكربون كليهما عن طريق البلازمولما (Plasmolemma) أى الغشاء البلازمى المحيط بالبروتوبلاست .

وتستطيع بعض أنواع البكتريا الانتقال من أحد طرز التغذية إلى طراز آخر إذا تغيرت الظروف البيئية التى تعيش فيها . وبعض العمليات الأيضية التى تنتج الطاقة والكربون لاتحدث إلا فى وجود الأكسجين الطليق والبعض

الآخر لايحدث إلا فى غياب الأكسجين ، كما أن هناك بعض البكتريا غير ذاتية التغذية الكيميائية تعيش مترممة ، حيث تستطيع تحليل البقايا العضوية الميته ، كالبقايا النباتية التى تتساقط على التربة ، وتستمد من نواتج تحلل تلك البقايا مصدرى غذائها ؛ بينما يعيش بعضها الآخر متطفلة ، ومن بين البكتريا المتطفلة تلك التى تسبب أمراضا مختلفة للحيوان والنبات ، وأحيانا لايكون هناك حد فاصل تام الوضوح بين البكتريا المترممة والمتطفلة ، مثال ذلك أن بعض أنواع البكتريا تزدهر فى التربة ككائنات مترممة ، ولكنها إذا استقرت داخل الجروح فى جسم الإنسان أو الحيوان تحولت من الترمم إلى التطفل ، ومن أمثلة تلك البكتيريا تلك التى تسبب مرضى التتانوس (Tetanus) والغرغرينا الغازية (Gaseous gangrene) عند الإنسان والقدام السوداء (Blackleg) عند الماشية ، والعطن الطرى (Soft rot) الذى يصيب الفواكه والخضر .

البناء الضوئى فى البكتريا

لاتؤدى البكتريا ذاتية التغذية الضوئية وظيفة البناء الضوئى بنفس الطريقة التى تؤديها بها الطحالب الخضر المزرقة ولا النباتات حقيقية النواة (Eukaryotes) ذلك لأنه فى عملية البناء الضوئى البكتيرى لا يتحرر غاز الأكسجين ، كما لايوجد كلوروفيل ا فى البكتريا ولكن توجد عوضا عنه مجموعة أصباغ الكلوروفيل البكتيرى (Bacteriochlorophylls) هى الكلوروفيل البكتيرى أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، ترافقها أصباغ إضافية من أشباه الكاروتينات أو الكاروتينويدات (Carotenoids) ، ووظيفة كل هذه الأصباغ مجتمعة حصد الطاقة الضوئية واقتناصها . والتركيب الجزيئى للكلوروفيل « أ » (الموجود فى بلاستيدات النباتات حقيقية النواة) يشبه إلى حد كبير جداً التركيب الجزيئى للكلوروفيل البكيتري ، مع اختلاف فى بعض المجموعات الجانبية للجزىء واختلاف طفيف فى الامتصاص الطيفى أيضاً . وتعتبر البكتريا ذاتية التغذية الضوئية قلة بين البكتريا ويكون لونها أخضر أو أحمر بنيا أو أرجوانيا ، وهى تستعمل كمصدر للكربون إما غاز ثانى

أكسيد الكربون نفسه وإما أحد المركبات العضوية المختلفة (كالأحماض الدهنية أو الأحماض العضوية أو الكربوهيدراتات أو الكحولات) ، وكمصدر للإيدروجين تستعمل إما الإيدروجين نفسه بدلا من الماء أو كبريتيد الإيدروجين أو أحد المركبات العضوية المحتوية على الإيدروجين ، ولكن ليس الماء نفسه كما هو الشأن فى النباتات حقيقية النواة ، وتوضح المعادلتان الآتيتان الفرق بين عمليّى البناء الضوئى فى نبات أخضر راق (أ) وفى بكتيرة ذاتية التغذية الضوئية (ب) .

(أ) ك ا$_٢$ + ٢ يد$_٢$ا ــــ ضوء / يخضور ←ــ (ك يد$_٢$ ا) + يد$_٢$ ا + ا$_٢$

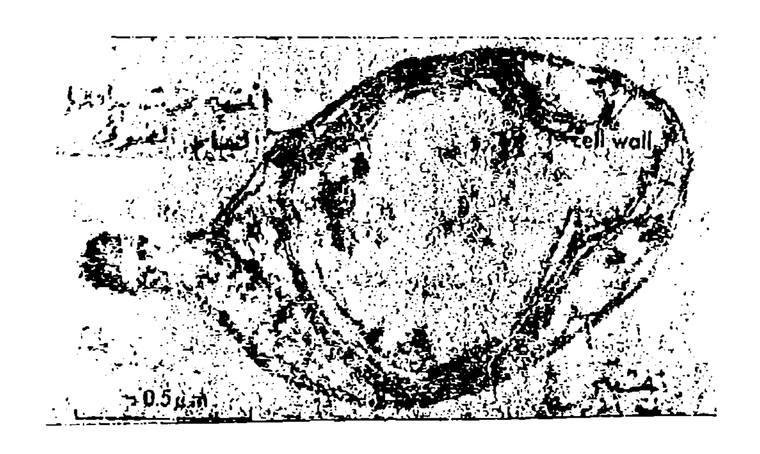
(ب) ك ا$_٢$ + ٢ يد$_٢$ كب ــــ ضوء / يخضور بكتيرى ←ــ (ك يد$_٢$ا) + يد$_٢$ا + كب

وتتضمن عملية البناء الضوئى فى البكتريا الخضراء والأرجوانية أكسدة كبريتور الإيدروجين بعملية كيموضوئية إلى كبريت أو حامض كبريتيك، كما هو موضح فى المعادلة السابقة (ب) والتالية (ج) .

(ج) ٢ كب + ٣ ك ا$_٢$ + ٥ يد$_٢$ ا ←ــــ ٢ يد$_٢$ كب ا$_٤$ + ٣ (ك يد$_٢$ ا)

وتمثل مجموعة (ك يد$_٢$ ا) — أو بصورة أخرى (يد ك أيد) — الفورمالدهيد الذى كان يعتقد أنه الناتج الوسطى فى البناء الضوئى للنشا.

(شكل ١٤٤)



قطاع فى بكتيرة « رودوميكروبيم فانيليلى » **Rhodomicrobium vanniellii**
وتظهر فيه صفوف الأغشية التى يحدث بداخلها البناء الضوئى

والبكتريا ذاتية التغذية الضوئية قلة بين أنواع البكتريا وغالبيتها لاهوائية إجبارية (Obligate anaerobes) تعيش فى البيئات الخالية من الأكسجين الحر ، كالطين الذى بقاع البرك والبحيرات . وهى تستعمل أحد العوامل المختزلة الخارجية الكيميائية ، كالإيدروجين أو كبريتيد الإيدروجين فى اختزال ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية البناء الضوئى ، مع أكسدة العامل المختزل دون انطلاق أكسجين ، حيث أن الأكسجين الطليق يكون ساما ومهلكا لتلك البكتريا . وتختلف البكتريا ذاتية التغذية الضوئية عن الطحالب الخضر المزرقة والبكتريا القرمزية من حيث طراز الكلوروفيل والأصباغ الأخرى المساعدة الموجودة فى كل منها .

وبالرغم من افتقار البكتريا ذاتية التغذية الضوئية إلى البلاستيدات الخضر فإن بها أغشية متخصصة تحدث بداخلها عملية البناء الضوئى ، ففى البكتريا الخضراء توجد تحت الغشاء السيتوبلازمى الخارجى للخلية مباشرة فجوات عرض كل منها حوالى ٥٠ ملليميكرون (= ٥٠ × ١٠$^{-٣}$ ميكرون) وطولها ضعف إلى ثلاثة أمثال عرضها (شكل ١٤٤) يحيط بها غشاء من طبقة واحدة ثخانته ٣ — ٥ ملليميكرونات ، وتوجد الأصباغ الإضافيـة المستقبلة للضوء داخل هـذه المثانات بينما يوجد اليخضور البكتيرى فى البلازمالمـا (Plasmalemma) — أى الأغشية البلازمية وفى البكتريا القرمزية تحدث التفاعلات الضوئية (التى يتضمنها البناء الضوئى) على سطح انثناءات داخلية معقدة لجهاز الأغشية البلازمية (البلازمالما) . تبدو أحيانا فى صورة حويصلات (Vesicles) وأحيانا فى صورة طبقات متوازية شبيهة بطبقات الجرانا فى البلاستيدات الخضر المعروفة فى حقيقيات النواة . ولكن — مع هذه المشابهة — لايصح أن يغيب عن الذهن أن هذه الأغشية إنما هى امتدادات من الأغشية البلازمية الخارجية ومتصلة بها . والبكتريا الخضراء هى وحدها التى يوجد بها جهاز أغشية مستقل داخل السيتوبلازم .

البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية

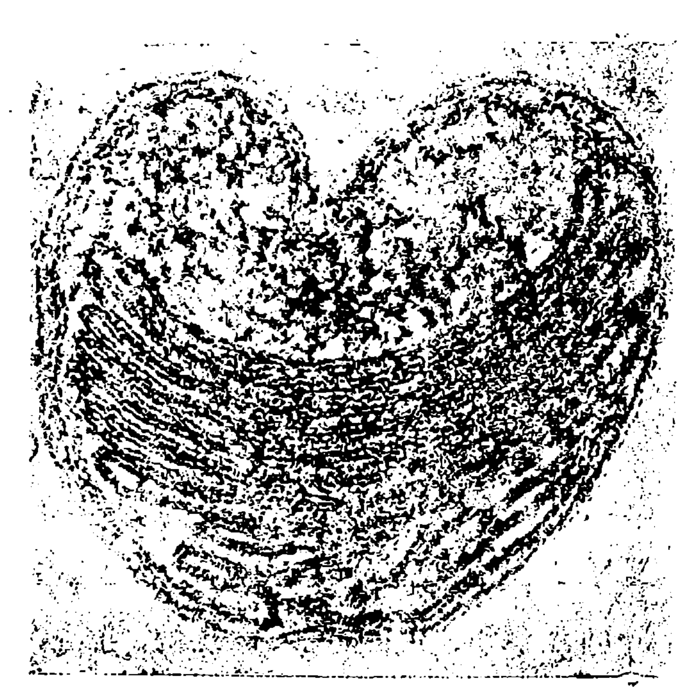
هذه البكتريا تفتقر إلى اليخضور البكتيرى وتعجز عن استخدام الطاقة الضوئية ، ولكنها — كما سبق القول — تستطيع استخدام الطاقة المنطلقة من أكسدتها لبعض المركبات غير العضوية المختزلة من أجل تمثيل ثانى أكسيد الكربون وبناء احتياجاتها الغذائية .

وتدخل فى إطار التغذية الكيميائية للبكتريا عدة أنشطة كيميائية تحدث بالتربة ، منها عملية النيترة (Nitrification) التى تتم على خطوتين تقوم بالأولى مجموعة بكتريا النتريت (Nitrite Bacteria) ، ومن أمثلتها أنواع جنس نيتروسوموناس (Nitrosomonas) ونيتروسوكس (Nitrosococcus) التى تستغل الطاقة المنطلقة من أكسدة أملاح النشادر (ن يد$_٣$) إلى نيتريتات (Nitrites) وفق المعادلة : —

٢ ن يد$_٣$ + ٣ ا$_٢$ ⟵ ٢ يد ن ا$_٢$ + ٢ يد$_٢$ ا + طاقة

(حامض نيتروز)

(شكل ١٤٥)



البكتيرة كيميائية التغذية التى تؤكسد نيتريتات التربة (ن ا$_٢^-$) إلى نيترات (ن ا$_٣^-$) وتشاهد بها صفوف الأغشية المتوازية (X ٩٠٫٠٠٠)

والنيتروسوموناس بكتريا هوائية قصيرة جداً قصبية الشكل ذات أهداب .

وفى الخطوة الثانيـــة تستغل بكتريا النيترات (Nitrate Bacteria) — الممثلة بجنسى نيتروباكتر (Nitrobacter) ونيتروسستس (Nitrocystis) — الطاقة المنطلقة فى الخطوة الأولى لأكسدة النيتريتات (وهى مركبات غير ثابتة) إلى نيتراتات (Nitrates) ، وهى مركبات ثابتة تزيد من خصوبة التربة وصلاحيتها لنمو النباتات .

٢ يدن ا٢ + ا٢ ←———— ٢ يدن ا٣ + طاقة

(حامض نيتريك)

والينتروباكتر هى أيضاً بكتريا هوائية قصيرة قصبية الشكل ولكن غير ذات أهداب فهى لذلك ساكنه لاتستطيع الحركة .

وعمليتا النيترة وتثبيت النتروجين كبيرتا الأهمية من الناحيتين البيئية والاقتصادية لأنهما تزيدان من خصوبة التربة ، وتعتمد الدول غير الصناعية على المخلفات الحيوانية (بما فيها مخلفات الإنسان) فى تدبير معظم احتياجاتها من المخصبات النتروجينية . وفى زماننا الحاضر يستهلك العالم خمسين مليون طن مترى من المخصبات النتروجينية كل عام فى تسميد المحاصيل (الطن المترى = ١٠٠٠ كج) ، ويوفر تثبيت النتروجين بالطريقة البيولوجية أى المعتمـدة على النشاط البكيترى ونشاط كائنات التربة الدقيقة الأخرى) ثلاثة أمثال تلك الكمية ، ولكن الاستفادة من هذا التثبيت البيولوجى تتحقق أكثر شىء للنظم البيئية الطبيعية التى لاتخضع لتحكم الإنسان . ومن المحتمل يصبح التثبيت النتروجينى البيولوجى أكبر فائدة للزراعة فى المستقبل عندما يتعلم الإنسان كيف يوظف تلك العملية الطبيعية ويتحكم فيها ويوجهها لمصلحته .

ومن أنواع البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية أيضاً بكتريا الكبريت (Sulphur Bactria) التى تستغل الطاقة المنطلقة من أكسدة الكبريت أو أحد مركباته ، وبكتريا الحديد (Iron Bacteria) التى تحصل على الطاقة بأكسدة مركبات الحديدوز إلى مركبات حديديك . وتوجد بكتريا الكبريت فى مياه الآبار والينابيع الكبريتية ، كما توجد أنواع منها على الطمى ، وتبدو فى شكل كتل من خيوط متشابكة عديمة اللون . أما بكتريا الحديد فهى أيضا خيطية وتعيش فى الماء الراكد بالبحيرات والقنوات والينابيع والبحار .

البكتريا غير ذاتية التغذية

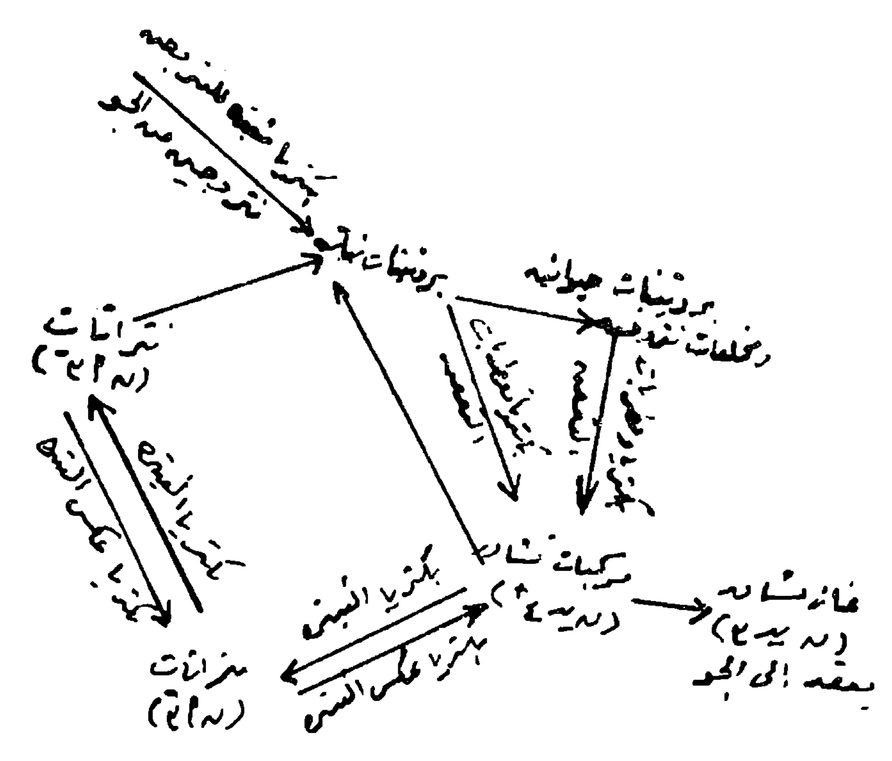
تمثل هذه غالبية أنواع البكتريا ، وتستمد الطاقة اللازمة لبناء مادتها البروتوبلازمية من تكسير مواد عضوية تمدها بها غيرها من الكائنات الحية ، منهـا ما تعيش متطفلة (Parasitic) ومنهـا ماتعيش مترممة (Saprophytic) على الأجداث الميتة أو النواتج العضوية التى تلفظها الأحياء ، ومنها ماتعيش متكافلة (Symbiotic) مع غيرها من الأحياء فى منفعة متبادلة ، مثل العلاقة الموجودة بين جذور النباتات القرنية والبكتريا العقدية .

دورة النتروجين

The Nitrogen Cycle

تمر العناصر التى تستعملها النباتات فى غذائها فى دورة من التغيرات الكيميائية أثناء امتصاص النباتات لها ، واستعمالها إياها ، ثم تحولها فى النهاية إلى صورة صالحة للامتصاص مرة أخرى . ولقد بدأنا نتعلم أن نفس مبدأ الدورة ينطبق أيضاً على المواد المستعملة فى المجتمعات البشرية ، فالأرض - مثلها كمثل أى كوكب آخر - لها موارد محدودة لابد من تجددها ودورانها . ودورة النتروجين (شكل ١٤٦) التى تلعب فيها البكتريا عدة أدوار أساسية هى إحدى الدورات المتوازنة الدقيقة التى تحدث فى التربة

(شكل ١٤٦)



أساسيات الدورة النتروجينية فى الطبيعة

ولشرح هذه الدورة نقول أن معظم النباتات تمتص النتروجين من التربة ساساً فى صورة أيونات النيترات (ن أ٣) ، ولو أنها يمكنها أيضاً أن تمتصها ، صورة أيونات نشادر (ن يد٤ ⁻) . وتستعمل النباتات النتروجين لممتص فى تخليق البروتينات وغيرها من المركبات ، مثل الأحماض النووية تهضم الحيوانات التى تغتذى على النباتات تلك البروتينات ، وتعيد تخليقها تصنع منها بروتيناتها الحيوانية .

ولما كانت أيونات النترات تزال من التربة باستمرار (وكذلك ونات النشادر) عن طريق امتصاص النباتات الخضراء لها فإن مواردها وجودة فى التربة لابد أن تنضب إذا لم يكن هناك مصدر لتجديدها وتعويض ممتص منها ، ولكن لا المركبات النتروجينية تامة التجهيز التى تبنيها النباتات الحيوانات ، ولا الفضلات النتروجينية التى تخرجها الحيوانات صالحة لامتصاص المباشر بواسطة النبات الأخضر ، وعملية تحويل النتروجين من

صورة البروتينات وغيرها من المركبات النتروجينية المعقدة إلى صورة النترات البسيطة الصالحة للامتصاص تحدث على عدة خطوات ، وتعزى فى المقام الأول إلى أنشطة البكتريا ، ولو أن بعض الخطوات الأولى فى تلك العملية تشارك فيها الفطريات أيضاً .

النشدرة (Ammonification) :

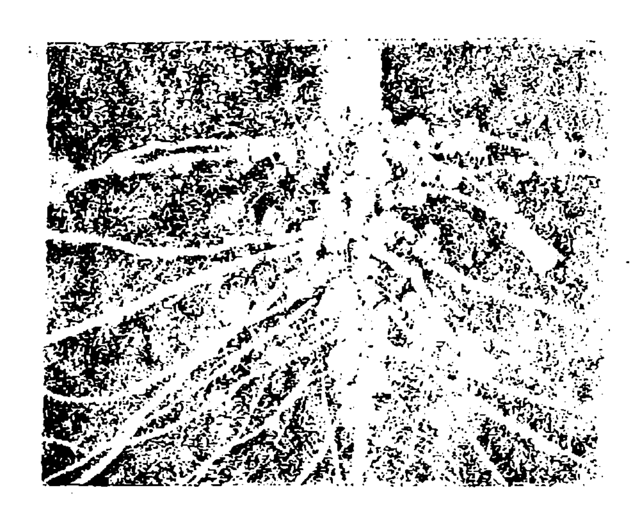
تعتبر المركبات النتروجينية الموجودة فى أجسام النباتات والحيوانات ، وكذلك الفضلات النتروجينية التى تخرجها الحيوانات ، مصدراً هاماً لغذاء مختلف أنواع البكتريا (والفطريات) التى تحدث التحلل والتعفن ، وينتج غاز النشادر (ن يد٣) عن هذا التحلل ، ويتسرب جانب من غاز النشادر الناتج إلى الهواء الجوى وبذلك لا يدخل فى دورة النتروجين . ولكن الجانب الأكبر منه يتفاعل مع الماء مكوناً إيدروكسيد النشادر (ن يد٤ أ يد) ، وتتكون من إيدروكسيد النشادر مجموعة متنوعة من أملاح النشادر دون أن تتدخل البكتيريا فى تكوينها .

وتستطيع كثرة من البكتريا — وغيرها من الكائنات الدقيقة — أكسدة الأحماض الأمينية الناتجة من الانحلال البروتينى وتكوين نشادر ، وتتراكم بعض أملاح النشادر المتكونة فى عملية النشدرة فى التربة لكى تستغلها النباتات الراقية والكائنات الدقيقة كمصدر غذائى نتروجينى ، ويتأكسد البعض الآخر نتيجة لتأثير بكتريا النيترة (Nitrifying Bacteria) .

النيترة (Nitrification) :

النيترة — التى سبق التحدث عنها فى مجال التغذية الكيميائية للبكتريا — تتضمن أكسدة أملاح النشادر الموجودة بالتربة أولا إلى نيتريتات بالتأثير الإنزيمى لبكتريا النتريت ، ثم أكسدة النتريتات الناتجة إلى نترات بالتأثير الإنزيمى لبكتريا النيترات .

(شكل ١٤٧)



العقد البكتيرية على جذور نبات فول الصويا

وتعد عمليات النشدرة والنيترة ، وهى التى تهدف إلى تحويل البروتينات النباتية والحيوانية إلى نترات ، من أهم العمليات الأيضية التى تقوم بها البكتريا النافعة لزيادة خصوبة التربة بزيادة محتوياتها النتروجينية ، وتستغل البكتريا الطاقة المنطلقة من هذه التفاعلات للقيام بأنشطتها المختلفة .

تثبيت النتروجين (Nitrogen Fixation) :

تختلف بعض البكتريا — وبعض الطحالب الخضر المزرقة أيضاً — عن سائر الكائنات الحية الأخرى فى قدرتها على استغلال النتروجين الجوى فى غذائها ، ويطلق على تلك البكتريا اسم « البكتريا المثبتة للنتروجين » (Nitrogen-fixing Bacteria) ، وبعضها مترممة تعيش فى التربة والبعض الآخر متكافلة (Symbiotic) تعيش غالبيتها فى جذور بعض النباتات الراقية ، وعلى الأخص النباتات القرينة (Leguminous plants) وأهم جنسين من أجناس البكتريا المثبتة للنتروجين التى تعيش حرة فى التربة هما جنسا أزوتوباكتر (Azotobacter) وكلوستريديم (Clostridium) والأول هوائى كبير الحجم نسبياً ، على شكل قصيبات قصيرة ولا يستطيع التجرثم ، أما الثانى فهو لا هوائى قصى الشكل يستطيع تكوين جراثيم .

وكثير من نباتات الفصيلة القرنية كالفول والبرسيم والبازلاء واللوبية والبرسيم الحجازى والدحريج تكون انتفاخات مميزة على جذورها (شكل ١٤٧) ، وتعرف بالعقد البكتيرية (Bacterial nodules)، وتعيش فى بعض خلايا هذه العقد كائنات بكتيرية تتبع جنس رايزوبيام (Rhizobium) ، وهى بكتريا هوائية لا تكون جراثيم عندما تستنبت فى المزارع البكتيرية، حيث تتخذ شكل قصيبات قصيرة ولكن شكلها يتحور داخل العقد البكتيرية إلى أشكال غير منتظمة ثنائية الشعب ، غالباً على شكل الحرف (Y) . ويحفز وجود البكتريا داخل جذور النبات القرنى خلايا تلك الجذور على الانقسام بنشاط تحت تأثير مواد منشطة للنمو تفرزها البكتريا التى تغزو الجذر عادة قرب قمته النامية .

وتصبح بعض المركبات النتروجينية التى تنتجها البكتريا العقدية متاحة للنبات العائل يستغلها فى تكوين البروتينات .

وغالباً ما تزرع المحاصيل البقولية فى دورات زراعية مع محاصيل أخرى بقصد إثراء التربة بالمركبات النتروجينية . ومن المعلوم أن المحصول البقولى إذا حصد وأخليت منه التربة التى نبت بها فإن التربة لا تكاد تستفيد منه شيئاً يذكر ، حيث أن ما يتخلف بها من نتروجين تحتويه الجذور قد لا يتجاوز فى كميته النتروجين الذى امتصه منها نبات المحصول أثناء نموه . ولذلك يلجأ المزارعون من وقت لآخر إلى حرث التربة بمحصولها البقولى دون حصده وإزالته ، فيؤدى ذلك إلى تحسين قوام التربة بزيادة الدبال والمادة العضوية بها وإلى زيادة محتواها من النتروجين المتاح .

وبالإضافة إلى الفصيلة القرنية توجد فصائل أخرى من النباتات الزهرية تضم نباتات توجد بجذورها عقد بكتيرية بداخلها بكتريا مثبتة للنتروجين ، ولكن معظم تلك البكتريا تتبع قسماً من أقسام البكتريا الخيطية يطلق عليه اسم « الفطريات الشعاعية » (Actinomycetes) .

وقد اكتشف حديثاً أن أنواعاً كثيرة من البكتريا المثبتة للنتروجين — تشمل جنس أزوتوباكتر — (tAzotobacter تنمو فى التربة حول جذور الأرز ، ومن المعلوم أن لنبات الأرز جهاز تهوية داخلى جيد ، ويتسرب بعض الأكسجين وبعض غاز النتروجين الذى تتزود به الجذور إلى التربة المغمورة بالماء فى حقول الأرز ، فيهىء ذلك وسطاً صالحاً لنمو البكتريا ونشاطها ، وقد وصفت العلاقة بين الأرز والبكتريا بأنها تكافل مرافقة (Associate symbiosis) ، ويبدو أن سلالات الأرز المختلفة تختلف فى مدى احتمالها أو تنشيطها لنمو البكتريا فى حقولها . وتبدى بعض النباتات كالذرة وقصب السكر وغيرهما استعداداً تحت ظروف التربية النباتية لانتهاج مثل هذا النهج من تكافل المرافقة المؤدى إلى تثبيت النتروجين .

والبكتريا المثبتة للنتروجين التى تعيش حرة فى التربة واسعة الانتشار وموجودة فى كل أنواع التربة عدا الحمضية منها عالية الحموضة ، كذلك البكتريا المثبتة للنتروجين التكافلية هى الأخرى واسعة الانتشار فى الطبيعة ، ولكن لاتوجد سلالة واحدة منها تستطيع أن تعيش فى جميع أنواع النباتات القرنية ، وغالباً ما ينصح بتعفير بذور القرنيات بالبكتريا الملائمة قبل زراعتها خاصة إذا كان الحقل المزمع زراعته لم تسبق زراعته بذلك المحصول . ويستطيع النبات البقولى أن ينمو فى غياب البكتريا ولكنه لا يصل إلى مستوى جودة نموه إذا وجدت لديه البكتريا الملائمة ، كما أن زراعته تكون غير مجدية فى زيادة خصوبة التربة .

عكس النيترة (Denitrification) :

هناك عوامل كثيرة تزيد من تعقيد دورة النتروجين ، فقد لاحظنا أن بعض النتروجين يمكن أن يخرج من الدورة بتسربه إلى الهواء الجوى على شكل نشادر غازى ، وهناك عدد من أنواع البكتيريا تسبب انعكاس عملية النيترة ، وقد تمضى هذه العملية العكسية إلى حد تكوين غاز أكسيد النتروجين (N_2O) وربما أبعد من ذلك إلى حد تكوين غاز النتروجين نفسه ، فى كلتا الحالتين يتسرب الغاز إلى الهواء الجوى ولا يشترك فى الدورة .

والبكتريا العاكسة للنيترة هى بكتريا لا هوائية — اختيارية أو إجبارية — تستخلص الأكسجين من النيريتات أو النيراتات وتستعمله فى أكسدة مواد غذائها العضوى ، مع تكوين الماء كأحد المنتجات النهائية للتفاعل . والطاقة التى تتحرر من أكسدة النتروجين تفوق تلك التى تستعمل فى نزع الأكسجين من النيتريتات والنيتراتات ، ونتيجة لذلك يكون هناك وفر فى الطاقة تستفيد به البكتريا فى أيضها . وتستغل معظم البكتريا العاكسة للنيترة الأكسجين الجوى إذا كان متوفراً بكميات كافية ، ولا تلجأ إلى عملية عكس النيترة إلا فى حالات نقص الأكسجين المتاح . ويشجع على حدوث تلك العملية رداءة التهوية فى التربة ، التى تؤدى آخر الأمر إلى اختفاء النتراتات تماماً فى الأراضى المشبعة بالماء حيث يحل الماء محل كل الهواء الذى بالتربة .

ملخص دورة النتروجين :

الخطوات الأساسية فى دورة النتروجين هى الآتية :

١ — تمتص النباتات النتراتات من التربة ، وتستعملها فى صنع البروتينات وغيرها من المركبات العضوية النتروجينية . وتستهلك الحيوانات جانباً من البروتينات التى تنتجها النباتات باغتذائها عليها ، وتستعملها فى بناء بروتيناتها .

٢ — تستعمل بكتريا وفطريات التعفن البروتينات النباتية والحيوانية وغيرها من المركبات النتروجينية ، وكذلك المخلفات النتروجينية غذاء لها ، وينتج عن ذلك تحلل تلك المركبات وإنتاج النشادر والمركبات النشادرية .

٣ — تتأكسد مركبات النشادر إلى نتريتات بتأثير جنس بكتريا نيتروسوموناس وغيره من أجناس البكتريا .

٤ — تتأكسد النيتريتات إلى نيتراتات بتأثير جنس « نيتروباكتر » وغيره

وهناك مسار آخر لخطوات البكتريا فى دورة النتروجين ، تتمثل فى نشاط النباتات الراقية التى نعيش الفطريات المتكافلة فى جذورها مكونة ذلك

ويمكن أن تستعمل جميع المصطلحات سالفة الذكر – فيما عدا مصطلح « حيوانى التغذية » (Holozoic) – فى وصف بعض البكتريا أو فى وصف العلاقة بين البكتريا وغيرها من الكائنات .

التكاثر فى البكتريا

(أولا) : الانشطار الثنائى (Binary fission)

يعتبر هذا النوع من التكاثر أكثر الأنواع شيوعاً ، وهو يبدأ باستطالة الخلية البكتيرية قليلا ، ثم التخصر فى وسطها تدريجياً (شكل ١٤٨) إلى أن يتم انقسامها إلى خليتين متماثلتين ، ويطلق على هذه العملية أيضاً اسم « الانشطار » (Fission) أو « الانشطار البسيط » (Simple fission) . وغالباً ما يتكون غشاء مستعرض مزدوج داخل الخلية ، يمتد من حافتها تدريجياً متجهاً نحو مركزها قبل أن يحدث التخصر الذى يمكن رؤيته ثم بعد ذلك يتم ترسيب الجدار الفاصل بين طبقتى الغشاء ، ممتداً من الخارج تجاه المركز ، وكما ذكرنا من قبل يمكن أن يسبق انقسام الكروموسوم البكتيرى انقسام الخلية أو يتزامن معه .

وفى الظروف الملائمة يتم انشطار الخلية البكتيرية ثنائياً مرة كل ٢٠ دقيقة ، بمعنى أن الخلية الواحدة يمكن أن تنتج ٤ خلايا فى ٤٠ دقيقة و ٨ خلايا فى ساعة واحدة و ٦٤ خلية فى ساعتين و ٥١٢ خلية فى ٣ ساعات و ٤٠٩٦ خلية فى ٤ ساعات وأكثر من ٤×٢١١٠ خلية فى ٢٤ ساعة ، وإذا استمر نفس معدل الانقسام لمدة ثلاثة أيام فإن حجم البكتريا الناتجة يكون أكبر من حجم الكرة الأرضية ، ولكن ما يحدث من تنافس بين هذه الكائنات الناتجة على الحيز أو الغذاء أو كليهما سرعان ما يحد من معدل التكاثر البكتيرى فى لحظة معينة ، حتى ولو كانت جميع العوامل الأخرى مواتية .

ومما يساعد على خفض معدلات تكاثر البكتريا أيضاً أن البكتريا ذاتها قد تكون نواتج أيضية – بسبب نشاطها الإنزيمى – تعمل على تثبيط نموها والحد من تكاثرها ، وفى الوقت نفسه تعمل الكائنات الدقيقة الأخرى التى تعيش معها وتشاركها البيئة والغذاء – مثل الفطريات – على الحد من نموها أو تسبب قتلها .

التكاثر الجنسى (Sexual Reproduction) (شكل ١٤٨)

لم تشاهد قط فى البكتريا عملية تكاثر جنسى كتلك التى تحدث فى النباتات الراقية ، متضمنة اتحاد مشيجين بنواتيهما لتكوين لاقحة ، وما يتبع تكوين اللاقحة من عملية انقسام اختزالى . ولكن كثيراً ما يحدث أن أنواعاً من البكتريا تنتقل فيها المادة الوراثية من خلية إلى أخرى ، ومثل هذه العمليات التى تنتقل فيها المادة الوراثية دون تكوين لاقحة يمكن أن يطلق عليها اسم « عمليات جنسية جانبية » (Parasexual processes) ، وهى عمليات تزاوج بدائية . وفى البكتريا توجد ثلاثة أقسام من هذه العمليات الجنسية الجانبية : تحويلات وتزاوجات وانتقالات عبر وسيط . وفى جميع هذه الحالات تنتقل الجينات فى اتجاه واحد من خلية معطية (Donor cell) إلى أخرى مستقبلة (Recipient cell). ولكن لا يحدث تبادل انتقال منتظم بين الخليتين كما فى حالات التكاثر الجنسى بالنباتات الراقية .

وفى التحويلات (Transformations) تنتقل قطع صغيرة من الحامض النووى (د ن أ) — أحياناً جين واحد فقط — من إحدى الخلايا البكتيرية إلى خلية أخرى دون تكوين منفذ مباشر تسلكه القطع المنتقلة ، ودون أن يكون انتقالها عن طريق فيروس يحملها ، وإنما تنتقل قطعة الـ « د ن أ » إلى الوسط الخارجى المحيط بالخلية ، ومن ذلك الوسط تأخذه الخلية المستقبلة بعملية فيزيوكيميائية معقدة . ومن الممكن إجراء مثل هذه العملية تجريبياً فى المختبر باستعمال المواد المفرزة من إحدى سلالات نوع من البكتريا لنقل صفات وراثية من تلك السلالة إلى سلالة أخرى . وبديهى أن مثل هذا النوع من الانتقال — أو شيئاً قريباً منه — لا بد أن يكون مما يحدث فى الطبيعة . وتندمج قطعة الـ « د ن أ » المنقولة داخل الجهاز الجينى للخلية المستقبلة فى نفس الموضع المقابل لموضعها فى الخلية المعطية . ولذلك فإن احتمالات نجاح « التحويلات » (Transformations) لا تتوفر إلا فى الحالات التى يتشابه فيها

التعاقب فى ترتيب الجينات على الكروموسوم البكتيرى ، كما فى سلالات النوع الواحد ، ومع ذلك فقد أمكن إجراء انتقالات ناجحة بين بكتريا من أجناس مختلفة . ويتمثل تعبير الجينات المنقولة عن نفسها فى تغير الشكل الظاهرى للبكتيرة المستقبلة ، وتغير أشكال مستعمراتها فى المزارع البكتيرية ، وتغير قدرتها على إحداث الأمراض إن كانت من البكتريا الممرضة .

أما التزاوج البكتيرى (Bacterial Conjugation) فيتضمن تكوين أنبوبة تزاوجية تصل ما بين خليتين متجاورتين (شكل ١٥٢) تستطيع أن تنتقل عن طريقها البلازميدات (Plasmids) ومادة « د ن أ » الكروموسومية من إحدى الخليتين إلى الأخرى ، ويكون الانتقال فى اتجاه واحد فقط ، ولا ينتقل عادة سوى أحد خيطى الحلزون الكروموسومى المزدوج . ويتم انتقال مادة الـ « د ن أ » فى البلازميدة المنتقلة ، وهى على صورة حلقة مغلقة ، ويمكن بعد انتقال الخيط الحلزونى الواحد أن يتضاعف بالانقسام طولياً لكى يستعيد شكله الأصلى كخيط قوقعى مزدوج ، ومن ثم تصبح لكلتا الخليتين المانحة والمستقبلة بلازميدة أعيد تكوينها من جديد . وانتقال مادة « د ن أ » الكروموسومية عن طريق قناة تزاوجية ليس شائع الحدوث فى البكتريا ، وحدوثه يتطلب انفصام قوقع « د ن أ » المزدوج ليصبح ذا طرفين خالصين ، ويمكن بعد الانفصام أن ينتقل جزء من الشريط المنفصم (وربما الشريط كله) إلى الخلية المستقبلة ، وهنالك تستطيع بعض أجزاء الخيط المنقول أن تندمج داخل كروموسوم الخلية المستقبلة .

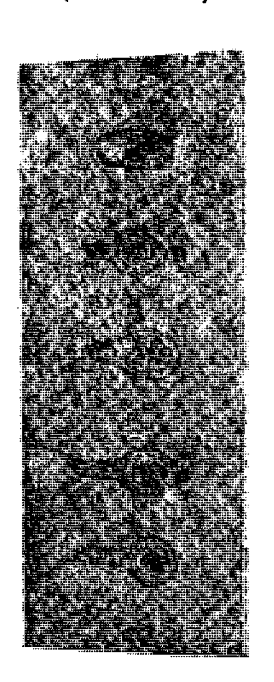
وغالباً ما يمكن نقل البلازميدات فيما بين أنواع من البكتريا شديدة الاختلاف . وعوامل مقاومة المضادات الحيوية تكون غالباً محمولة على البلازميدات ، وعن طريق التزاوج البكتيرى يمكن حدوث طفرة فى المقاومة البكتيرية لمضاد حيوى معين تتسع لتتجاوز النوع البكتيرى الذى نشأت فيه تلك المقاومة أصلا .

أما الانتقال عبر وسيط (Transduction) فهو انتقال المادة الوراثية من خلية بكتيرية إلى أخرى عن طريق أحد الفيروسات آكلات البكتريا (Bacteriophage) ، وهى كائنات بالغة الدقة تتطفل على الخلايا البكتيرية وتتغذى عليها . وسيأتى الحديث تفصيلياً عن الفيروسات فى باب لاحق .

التجرثم (Sporulation)

هناك أنواع كثيرة من البكتريا تنتج خلايا مستكنة ، غليظة الجدر ، شديدة المقاومة للكثير من العوامل البيئية غير الملائمة ، كالجفاف والحرارة العالية والبرد الشديد . مثل هذه الخلايا المستكنة يطلق عليها عادة اسم «جراثيم» (Spores) أو «جراثيم داخلية» (Endospores) ، وتعرف عملية تكوينها باسم «التجرثم» (Sporulation) . هذه الجراثيم البكتيرية قد لا تكون مماثلة تماماً لجراثيم الكائنات الحية الأخرى . وتحفز على حدوث التجرثم ظروف غير ملائمة للنمو ، ولكن الآلية الفسيولوجية فى الاستجابة لهذه الظروف آلية معقدة ، والأرجح أنها تتمثل فى نقص موارد الجلوكوز المتاحة للخلية .

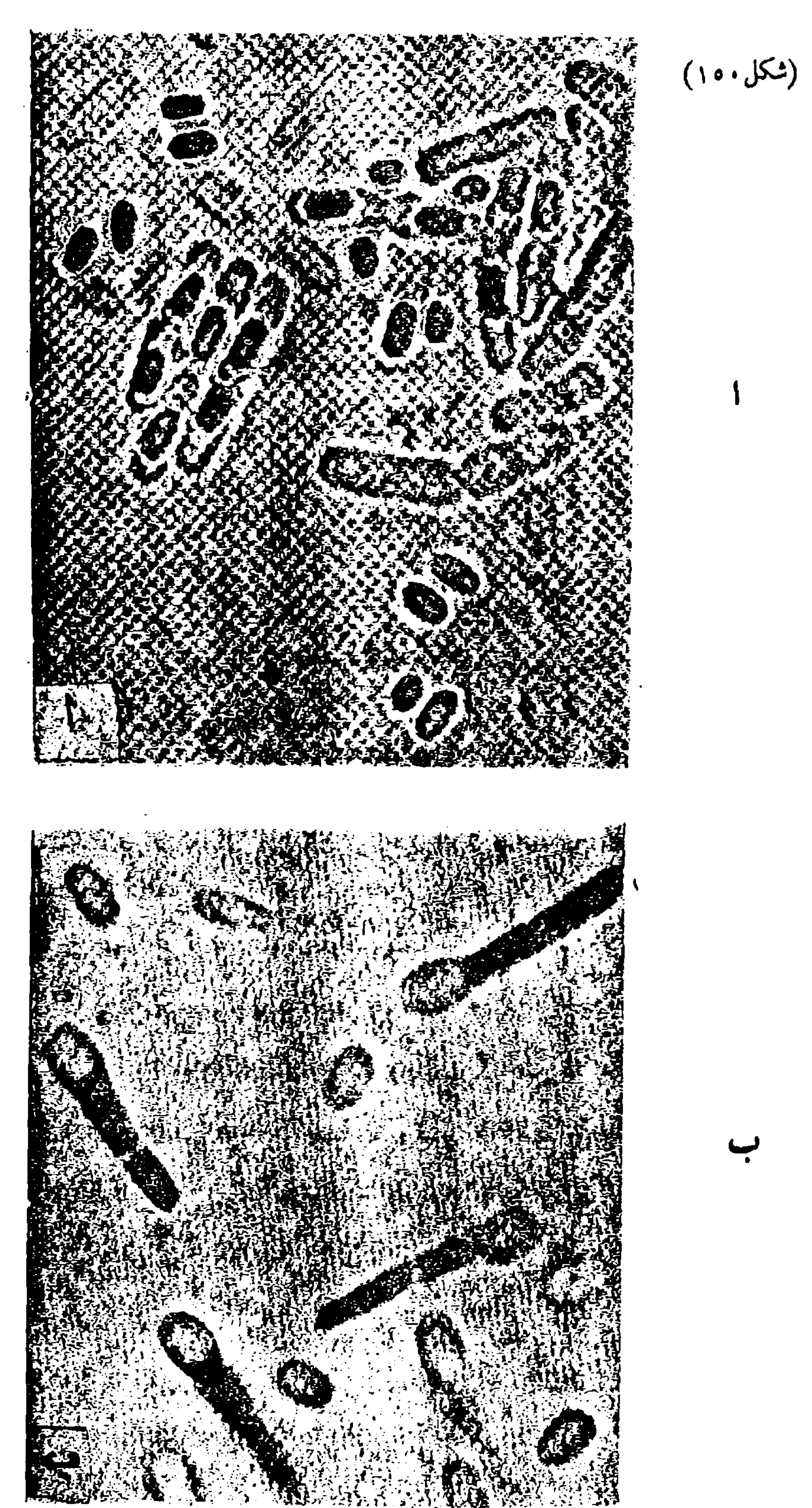
(شكل ١٤٩)



طرق تكوين الجراثيم الداخلية فى مختلف أنواع البكتريا المكونة للجراثيم (عن الكسوبولوس) .

وفى أثناء تكون جرثومة بكتيرية داخل خلية خضرية يحدث تغير فى طبيعة بعض بروتينات البروتوبلازم ، وتتركز معظم مكونات الخلية فيما عدا الماء — فى كتل صغيرة نسبياً يتكون حول كل منها جدار غليظ يغلفها (شكل ١٤٩) ، (شكل ١٥٠) ، وأحياناً تتكون جرثومة واحدة فقط داخل كل خلية خضرية ، إما فى الوسط وإما فى أحد الطرفين ، وفى هذه الحالة ينكمش البروتوبلازم فى الخلية

(شكل ١٥٠)



(أ) خلايا بكتيرية خضرية وأخرى متجرثمة وجراثيم أخرى حرة لبكتيرة « باسيلس سيريوس » . (ب) خلايا متجرثمة وجراثيم حرة لبكتيرة « كلوستريديم بكتينوفورم »

البكتيرية الخضرية التى يبدأ فيها التجرثم ليكون جسماً بيضياً أو شبه كروى يحيط به جدار غليظ ، وذلك الجسم هو الجرثومة . وتبدو الجرثومة كجسم لامع داخل جدار الخلية الوالدة التى تعرف عندئذ بالحافظة الجرثومية (Sporangium) . وتعد الجرثومة بمثابة خلية بكتيرية فى مرحلة سكون .

وتكاد تنحصر القدرة على تكوين جراثيم داخلية فى جنسين من أجناس البكتريا العصوية ، هما باسيلس (Bacillus) وكلوستريديم (Clostridium) يوجد من بين أنواعهما ما تعيش فى التربة ، ومنها ماتسبب أمراضاً خطيرة للإنسان مثل أمراض التيتانوس والغرغرينا الغازية والتسمم الغذائى والجمرة الخبيثة . وتتميز الجراثيم الداخلية — بالإضافة إلى شدة مقاومتها للحرارة والتجفيف — بمقاومتها للمطهرات الكيميائية ، فبينما تموت الخلايا البكتيرية الخضرية عادة عند تعرضها لدرجة حرارة ٧٠°م تستطيع الجراثيم أن تتحمل درجة غليان الماء (١٠٠°م) بعضها لفترة تتراوح بين خمس وعشر دقائق والبعض لفترة تتراوح بين ست وثمان ساعات ، بل توجد قلة منها لا تموت حتى ولو امتدت فترة الغليان إلى ١٦ أو حتى ٢٠ ساعة .

ويكون حجم الجرثومة عادة حوالى $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{4}$ حجم الخلية التى تتكون بداخلها ، كما يكون معظم الماء الموجود بها مقيداً (Bound) لارتباطه بالغرويات المحبة للماء أو لسبب آخر ، وبذلك لا يشترك ذلك الماء فى أية تفاعلات كيميائية تحدث داخل الخلية ، وتبطىء أنشطة الحياة كثيراً حتى لا يكاد يظهر لها أى أثر ، وبذلك فإن الجرثومة يمكن اعتبارها عملياً ذات حيوية معلقة أو كامنة . والمعتقد أن المقاومة الفذة التى تبديها الجراثيم البكتيرية الداخلية للعوامل البيئية والكيميائية — التى تسبب إماتة الخلايا الخضرية العادية — إنما ترجع أولا إلى عدم النفاذية النسبية التى تتميز بها جدرها الخارجية ، وثانياً لوجود معظم مائها فى حالة مقيدة وشديدة الارتباط بالمواد الغروية البروتوبلازمية فيها ، مما يجعل الماء غير حر للاشتراك فى عمليات الأيض الكيميائية المختلفة .

ومن الجدير بالذكر أن تجارب كثيرة أجريت لاختبار مدى مقاومة الجراثيم واحتمالها للعوامل غير الملائمة ، منها تجربة وضعت فيها الجراثيم فى أوانى مغلقة بإحكام ومفرغة من الهواء وتحت درجة حرارة الهليوم السائل (– ٢٦٩° إلى – ٢٧٣°م) ولم تفقد قدرتها على إنتاج خلايا خضرية نشيطة بعد زوال العوامل المؤثرة . ومقاومة الجراثيم للجفاف هى بلا شك شبيهة بمقاومتها للبرد الشديد من حيث اعتمادها على نزع الماء منها وتقييدما تبقى منه بداخلها وبالتالى توقف نشاطها الأيضى المعتاد .

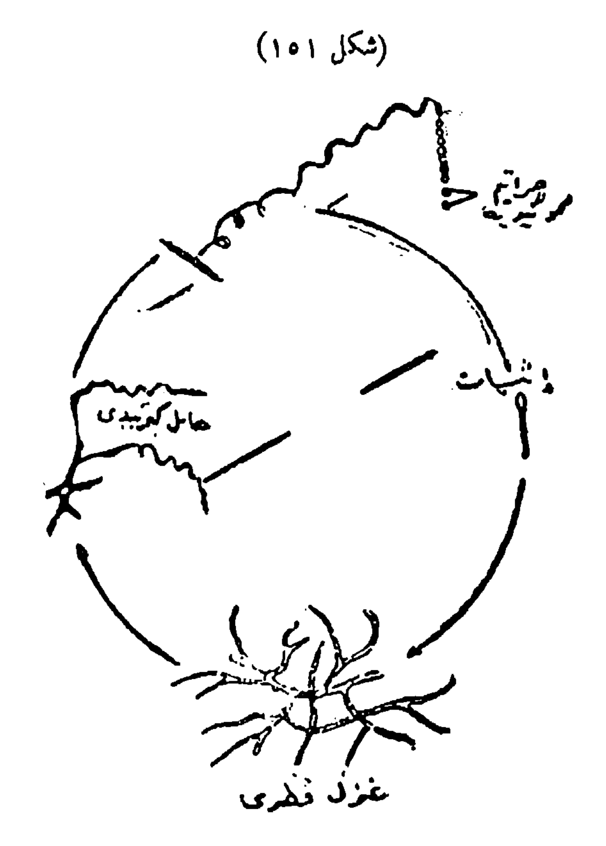
وهناك أيضاً كثرة من البكتريا تستطيع احتمال درجات الحرارة الأقل كثيراً من درجة التجمد مع احتفاظها بحالتها الخضرية ، وفى مثل هذه الحالات تموت معظم تلك البكتريا بمجرد انتهاء تعرضها للبرد أو بعد ذلك بقليل ، ولكن القلة من الأفراد التى تظل حية بعد انتهاء تعرضها للبرد قد يستمر بقاؤها أمداً طويلا بغير حدود ، رغم أنها – كخلايا خضرية – ليست كالجراثيم فى مستوى احتمالها للبرودة .

ويظل البوغ (أى الجرثومة) الداخلى فى حالة سكون ما بقيت الظروف غير ملائمة لإنباته ، حتى إذا ما توفرت الظروف الملائمة مرة أخرى تحولت الجرثومة إلى خلية خضرية شبيهة تماماً بالخلية الأبوية التى نشأت منها ، حيث تأخذ فى الانتفاخ ، ويتمزق جدارها الغليظ ، وتتحرر منه الخلية الخضرية النشيطة يغلفها جدارها الرقيق الجديد . ويؤدى إنبات كل جرثومة إلى إنتاج خلية خضرية واحدة . ولذلك لا يمكن اعتبار جراثيم البكتريا التى تنتج منفردة وحدات تكاثرية بمعنى الكلمة لأنها لا تؤدى إلى زيادة فى عدد الأفراد . وفى ذلك تختلف جراثيم البكتريا عن جراثيم الكائنات الأخرى.

التكاثر بالجراثيم الكونيدية (Conidia)

توجد بين فصائل البكتريا الخيطية فصيلة تعرف بفصيلة الفطريات السبحية (Streptomycetaceae) تتميز بأنها تشبه الفطريات الحقيقية

(شكل ١٥١)



دورة حياة الفطرة السبحية تبين كيفية تكوين الجراثيم الكونيدية . (عن السكسوبولوس) .

كفطريات العفن مثلا — فى كونها خيطية ، ولكنها تختلف عنها من حيث افتقارها إلى نواة حقيقية كتلك الموجودة فى فطريات العفن ، إلا أنها تشبهها فى طريقة تناسلها لا جنسياً بتكوين سلسلة من الجراثيم الكونيدية (Conidiospores) (شكل ١٥١) التى تنشأ نتيجة لتكون جدر فاصلة متعاقبة فى الأجزاء الطرفية للخيوط ، وتعد هذه الطريقة تكاثرية ، مثلها كمثل الانشطار الثنائى فى البكتريا الحقيقية . وتشبه الجراثيم الكونيدية الجراثيم الداخلية .

(فروع علم البكتيريا)

تعد دراسة البكتيريا من الدراسات المتشعبة الأهداف ، ومن ثم فينقسم علم البكتيريا (Bacteriology) إلى عدة فروع أهمها علوم البكتيريا الطبية والصناعية وبكتيريا الأغذية والألبان والتربة (أو البكتيريا الزراعية) ، وسنتحدث عن أهداف كل فرع من هذه الفروع فى إيجاز .

علم البكتيريا الطبية (Medical Bacteriology) :

يختص علم البكتيريا الطبية بدراسة البكتيريا التى تصيب الإنسان وما تسببه له من أمراض ، وإيجاد الطرق المختلفة لمقاومة نموها ومعالجة أمراضها ، وقد تمخضت هذه الدراسات عن تحضير اللقاحات أو الفاكسينات (Vaccines) والأمصال المضادة للسموم البكتيرية (Antitoxin serums) والمواد المقاومة للميكروبات داخل جسم الإنسان . فمما هو مروف أن البكتيريا المسببة للأمراض التى تصيب الإنسان تفرز سموماً داخل الأجسام ، هى التى ينتج عنها ما يظهر على المريض من أعراض مرضية قد تودى بحياته . ولا تقف الأجسام الإنسانية مكتوفة الأيدى أمام مهاجمة البكتيريا ، بل توجد بها آلية خاصة تعمل على معادلة السموم البكتيرية أو التقليل من تأثيرها ، كما تعمل على إضعاف أو قتل الميكروبات المنتجة لها . والمناعة التى يبديها الجسم ضد الميكروب إما أن تكون مناعة طبيعية (Natural immunity) مستمدة من عمل الآلية الجسدية ذاتها . أو مناعة صناعية (Artificial immunity) — وتعرف أيضاً بالمناعة المكتسبة (Acquired immunity) يكتسبها الجسم نتيجة لحقنه بلقاحات صناعية تعمل على معادلة السموم البكتيرية أو تحد من تأثيرها .

أما المناعة الطبيعية فتتمثل فيما تقوم به كريات الدم البيضاء من مهاجمة البكتيريا والعمل على التقامها ، ويتراوح عدد كريات الدم البيضاء بين سبعة وثمانية آلاف فى كل ملليمتر مكعب من الدم . ويكون الدم أيضاً

مواد خاصة تعمل على تلازن (Agglutination) البكتيريا وتغليفها بمادة هلامية – نتيجة لذوبان جدرها الخارجية – حتى يسهل مهاجمتها والتقامها بوساطة كريات الدم البيضاء ، وتعرف مثل هذه المواد بالأجسام المضادة المجمعة أو الملزنات (Blocking antibodies or Agglutinin) .

وتستطيع كرية الدم البيضاء أن تلتهم خمسين بكتيرة مجمعة بقدرة تفوق خمسين مرة قدرتها على التقام هذه البكتريا وهى منفصلة ، كما يتم ذلك فى وقت أقصر بكثير . وتستغل خاصة تكوين الملزنات فى تشخيص بعض الأمراض البكتيرية التى تصيب الإنسان ، فإذا كان المريض مصاباً بحمى عجز الطبيب عن تشخيصها ، ولنفرض مثلا أن الغرض تشخيص ما إذا كانت الحمى تيفوئيدا ، فإنه يستنزف جزء قليل من دم المريض ويترك ليتجلط . ثم يفصل ما به من مصل ، ويخلط بمعلق مائى من بكتيريا التيفوئيد ، فإذا كان المريض مصاباً بحمى التيفوئيد احتوى المصل على الملزنات الخاصة بها وتجمعت البكتيريا فى كتل هلامية . أما إذا كان المريض غير مصاب بها فتظل بكتيريا التيفوئيد معلقة . ويكون دم المصاب – بجانب الملزنات – مواد كيميائية مضادة تعمل على معادلة السموم البكتيرية وإبطال تأثيرها ، وتعرف باسم مضادات السموم (Anti-toxins) .

أما المناعة المكتسبة فهى مناعة صناعية توصل إليها العلم بتقليد وتعزيز الآلية الجسدية – أو المناعة الطبيعية – لمقاومة المهاجمات البكتيرية ، وتستخدم لإكساب المناعة الصناعية طرق شتى ، وذلك إما باستحثاث الجسم الحى لإفـــراز مضادات السموم باستعمال اللقاحات أو الفاكسينات (Vaccines) ، وإما بتحضير هذه المضادات فى أجسام الحيوانات واستنزاف مصل الدم منها وحقنه فى جسم الإنسان بطريقة الأمصال المضادة للسموم (Antitoxin serums) :

اللقاحات أو الفاكسينات : تهدف اللقاحات نحو حقن الأجسام بالبكتيريا الميتة المسببة للمرض أو بسمومها أو بسلالات موهنة منها غير ممرضة ، وذلك لاستحثاث الجسم لتكوين مواد مضادة للسموم تكسبه مناعة صناعية ، وهناك ثلاثة أنواع من اللقاحات :

(أ) لقاحات بالسموم الخارجية : وتستغل فى حالة الدفتيريا، حيث تربى البكتيرة المسببة للمرض على منابت غذائية خاصة ، وترشح المزرعة البكتيرية خلال مرشحات خزفية خاصة تحول دون نفاذ البكتيرة ولكنها تسمح بمرور توكسيناتها الخارجية (Exotoxins) ، ويحقن الجسم تحت الجلد بالمحلول المرشح الذى يحتوى على السموم الخارجية ، فيستجيب لها بتكوين مواد مضادة تكسبه مناعة صناعية .

(ب) لقاحات لبكتيريا ميتة : وتستعمل فى حالة التيفوئيد والباراتيفوئيد، ويتم قتل البكتيريا بتعريضها لدرجات حرارة عالية أو لتأثير الأشعة فوق البنفسجية ، وتستحث البكتيريا الميتة الدم لتكوين مواد مضادة بسبب ماتحتويه من توكسينات داخلية (Endotoxins) . وتستغل حديثاً بعض المضادات الحيوية فى قتل البكتيريا لتحضير لقاحات البكتيريا الميتة .

(ج) لقاحات لسلالات حية موهنة : وتستغل لإكساب المناعة الصناعية بحقن الجسم بالبكتيرة المسببة للمرض بعد معاملتها بطريقة خاصة تعمل على توهينها وإبطال قدرتها على إحداث المرض ، كما هو الحال فى تحضير لقاح مرض السل المعروف علمياً باسم (ب . س . ج — B.C.G.) وهو اختصار للعبارة الإنجليزية باسيلس كالمت جويرين (Bacillus Calmette Guerin) ، ويتم توهين البكتيرة المسببة للمرض — والمعروفة علمياً باسم ميكو باكتيريم تيوبر كيولوسيس (Mycobacterium tuberculosis) ، — بزرعها فى منبت غذائى يحتوى على الصفراء ، وهى مادة يفرزها الكبد ، وتعمل على إضعاف حيويته بحيث يفقد قدرته على إحداث المرض ولكنه يستحث الجسم الحى على تكوين مضادات لسموم المرض .

الأمصال المضادة للتوكسينات : تحضر بحقن بعض الحيوانات — كالخيول مثلا — بجرعات متزايدة من البكتيرة الممرضة أو بسمومها . فيستجيب دم الحيوان لهذه السموم بتكوين مواد مضادة لها تعمل على معادلتها أو مقاومة تأثيرها ، ثم يستنزف دم الحيوان ويجلط لفصل ما به من كريات دم بيض

وحمر ، ويفصل السائل - أو المصل (Serum) - الذى يحتوى على مضادات السموم ويحقن به الإنسان ، فيكتسب بذلك مناعة ضد المرض ، وتعرف مثل هذه المناعة باسم « المناعة المنقولة » (Passive immunity) ، وتستغل الأمصال المضادة للسموم لإكساب الأجسام مناعة صناعية ضد أمراض الدفتيريا والتيتانوس وغيرها من الأمراض .

المواد المقاومة للبكتيريا : يهدف علم البكتيريا الطبية أيضاً إلى إيجاد مركبات كيميائية (كمركبات السلفا وأشباهها) أو مضادات حيوية (كالبنسيلين والستربتومايسين) لمقاومة البكتيريا المسببة للأمراض الإنسانية والحيوانية ، ويشترط لاستغلال هذه المواد استغلالا طبياً ألا تكون سامة للإنسان أو للحيوان أو تحول دون قيام بعض الأعضاء بوظائفها الفسيولوجية .

علم بكتيريا الأغذية (Food Bacteriology) :

يبحث علم بكتيريا الأغذية فيما يصيب شتى أنواع الأطعمة بسبب البكتيريا وما تحدثه من تغيرات ، وعلاقة ذلك بما يعود على الإنسان من منافع أو مضار ، والبكتيريا التى تصيب الأطعمة إما أن تسبب حموضتها أو تحدث بها تغيرات غير مستحبة ، أو تسبب تغيرات مرغوب فيها ، أو تسبب أمراضاً خطيرة ، فمن أمثلة البكتيريا التى تحدث تغيرات غير مستحبة تلك التى تصيب الموز - وغيره من الفواكه - فتغير من طعمها وتسبب تعطنها . ومن أمثلة البكتيريا المسببة لتغيرات مرغوب فيها البكتيرة المستغلة فى تخليل الخيار وغيره من المخللات المعروفة ، والتى تعرف علمياً باسم « لاكتوباسيلس بلانتارم » (Lactobacillus plantarum) ، إذ أن المحلول الملحى المستعمل فى التخليل يعمل على استخلاص بعض المحتويات الداخلية التى تستحث نمو البكتيرة ونشاطها ، وتعمل القدرة الإنزيمية للبكتيرة على انتاج حمض اللاكتيك ، الذى يتعاون مع المحلول الملحى على تغيير لون وتركيب ومذاق الخيار وغيره من المخللات .

وهناك أمراض كثيرة منشؤها تلوث المواد الغذائية بالبكتيريا ، من بينها التسمم البوتشوليني أو التسمم المنبـــارى (Botulism) والتسمم الغـــذائى (Food poisoning) . ويتسبب التسمم البوتشوليني عن سموم خارجية تفرزها بكتيرة تعرف علمياً باسم « كلوستريديم بوتيوليم » (Clostridium botulinum) التي تلوث عادة بعض الأطعمة المحفوظة مثل اللحوم والأسماك، وهذه السموم شديدة التأثير بحيث تودى كميات ضئيلة منها بحياة المصاب . أما التسمم الغذائى فسبب عن نوع من البكتيريا العنقودية – يعرف باسم ستافيلوكوكس أورياس (Staphylococcus aureus) – ويسبب ما ينتجه من سموم فى المواد الغذائية التهاب الأغشية المبطنة للمعدة والأمعاء . ومن البكتيريا التى تلوث الأطعمة وتسبب الأمراض ما يرجع منشؤها إلى الفواكه والخضراوات التى تنمو فى تربة تستعمل فيها الفضلات البرازية كسماد ، إذ تكون هذه التربة ملوثة بكثير من البكتيريا المعوية مثل بكتيرة التيفوئيد ؛ كما قد يتلوث الطعام بالغبار المحمل بالميكروبات أو بما تحمله الأيدى الملوثة التى تتداول الطعام ؛ أو بالرذاذ الذى تلفظه أنوف وأفواه الحاملين للميكروبات ، وتوجد بالإضافة إلى التيفوئيد أمراض أخرى كثيرة مصدرها الطعام مثل أمراض السل والدفتيريا والزحار (الدوسنطاريا) الباسيلى والحمى القرمزية .

ومن الأهداف التى يسعى إليها علم بكتيريا الأغذية إيجاد السبل الكفيلة بصيانة الأطعمة المحفوظة وعدم تلوثها بالميكروبات البكتيرية . وهناك عدة طرق لتعقيم هذه الأطعمة قبل حفظها ، وذلك بالتبريد أو بالتسخين أو بالتدخين أو بالتجفيف أو بالتمليح أو بإضافة بعض مواد كيميائية مثل بنزوات الصوديوم وحمض الساليسيليك أو مضادات حيوية (مثل الأوريومايسين والتيرامايسين) أو باستغلال الإشعاعات المؤينة مثل أشعة إكس والأشعة فوق البنفسجية والجامية ، كما وجد أن استعمال الضغوط الهوائية العالية يسبب قتل البكتيريا ويعمل على إبطال قدرتها الإنزيمية .

علم بكتيريا الألبان (Dairy Bacteriology) :

يهدف علم بكتيريا الألبان إلى دراسة الموضوعات الآتية :

١ - التعرف على أنواع البكتيريا الموجودة فى الألبان لتحديد مدى صلاحية الأخيرة للاستعمال .

٢ - لما كان اللبن معرضاً للتلوث بالبكتيريا المسببة للأمراض فإن هذا العلم يهدف إلى إيجاد الوسائل المتنوعة الكفيلة بإقلال التلوث البكتيرى وقتل الميكروبات .

٣ - العمل على الاستفادة صناعياً من بعض أنواع البكتيريا التى تحدث بالألبان تغيرات كيميائية مرغوباً فيها يستفاد منها فى تحضير بعض المنتجات اللبنية .

ولما كان اللبن من أنسب المنابت الغذائية لنمو البكتيريا ، لاحتوائه على جميع ما تتطلبه من احتياجات غذائية ، من بروتينات وكربوإيدراتات ودهون وأملاح معدنية (أملاح الكالسيوم والفوسفور والحديد) وفيتامينات (فيتامين أ ، فيتامين ب١ أو ثيامين ، فيتامين ب٢ أو ريبوفلافين ، فيتامين ج) وماء ، فإنه يكون ملوثاً بالبكتيريا منذ اللحظة الأولى التى تلفظه فيها أثداء البهائم ، ثم يزداد تلوثاً فيما بعد كلما تداولته الأيدى وترك معرضاً للغبار ، وتصيب الإنسان الكثير من الأمراض عن طريق تلوث الألبان ، ويكون مصدر العدوى البقرة المحتلبة أو الإنسان ، وهناك طريقتان يتم بهما الانتقال ، فقد تنتقل البكتيريا الممرضة من البقرة المصابة إلى لبنها ثم إلى الإنسان ، كما فى أمراض السل والتهاب الأثداء ، أو تنتقل عن طريق اللبن ذاته من إنسان مصاب أو حامل للميكروب إلى إنسان آخر ، مثل أمراض التيفوئيد والدفتيريا والدوسنطاريا الباسيلية والحمى القرمزية .

ولما كان اللبن معرضاً للتلوث بكثير من البكتيريا المسببة لأمراض الإنسان فلابد من تعقيمه قبل الاستعمال لقتل هذه الميكروبات ، وتعد طريقة التعقيم بالبسترة - نسبة إلى باستير - هى الطريقة الوحيدة المستعملة لتعقيم الألبان ، ويتم ذلك إما بالتسخين عند درجة حرارة ٦١,٧° مئوية لمدة ثلاثين دقيقة أو عند درجة حرارة ٧١,٧° مئوية لمدة خمس عشرة ثانية .

وتستغل عمليات التخمر البكتيرية فى تحضير بعض المنتجات اللبنية ، مثل الياغورت (اللبن الزبادى) والبوزا (Busa) فى تركستان ، والكفير (Kefir) فى القوزاق والبلقان ، ويتكون الأخير نتيجة عملية تخمر تكافلية - أى بالتعاون بين بكتيرة وفطرة خميرة - فتنتج الأولى حمض اللاكتيك وتنتج الثانية الكحول الإيثيلى ، وتتم عملية التخمر داخل أكياس جلدية مصنوعة من جلد الماعز . ويصنع الكوميس (Kumiss) فى بعض المناطق الروسية بعملية تخمر تكافلية - بين بكتيرة وفطرة خميرة - من ألبان إناث الخيل . وتستغل الطاقة الإنزيمية لبعض أنواع جنس « البروبيونيبا كتيريم » (Propionibacterium) فى تحضير الجبن السويسرى من اللبن ، إذ تعمل هذه البكتيرة على تخمر حمض اللاكتيك وإنتاج ثانى أكسيد الكربون وحامضى البروبيونيك (Propionic acid) والخليك ، ويعمل ثانى أكسيد الكربون على تكوين الفجوات المميزة لهذا النوع من الجبن ، كما يضفى عليه الحامضان النكهة المميزة له .

علم البكتيريا الصناعية (Industrial Bacteriology) :

البكتيريا من الكائنات الدقيقة الغنية بمحتوياتها الإنزيمية ، التى تستطيع باستغلالها إتمام الكثير من التغيرات الكيماوية . وتستغل القدرة الإنزيمية للبكتيريا فى كثير من الأغراض الصناعية ، كعمليات التخمر (Fermentation) والتعطين (Retting) وغيرها من العمليات الاقتصادية . والقدرة الإنزيمية البكتيرية إما أن تكون انحلالية ، أى تعمل على تكسير المواد المعقدة إلى مواد أكثر منها بساطة وبدائية . أو بنائية تعمل على تكوين مواد معقدة من مواد أبسط منها . ومن الأوجه التى تستغل فيها الطاقة الإنزيمية الانحلالية للبكتيريا صناعة حمض اللاكتيك (Lactic acid) ، الذى يحضر صناعياً بتأثير إنزيمات بعض أنواع جنس اللاكتوباسيلس (Lactobacillus) على المولاس المتخلف من صناعة سكر القصب وماء الشرش المتخلف عن صناعة الجبن ، حيث تؤثر على السكر الموجود بها وتحوله إلى حمض لاكتيك حسب المعادلة الآتية :

ك٦ يد١٢ ا٦ ← ٢ ك يد٣ ك يد ا يد ك ا ا يد

(جلوكوز) (حمض لاكتيك)

ويستعمل حمض اللاكتيك فى كثير من الأغراض الصناعية ، كاستعماله لزيادة حامضية بعض الأطعمة المحفوظة – كالخضراوات ومنتجات الأسماك – لصيانتها من التلوثات البكتيرية . كما يستعمل فى بعض مراحل الصناعات الخاصة بالجلود والمنسوجات ، وتستعمل أملاحه الكالسيومية فى كثير من التحضيرات الصيدلانية .

أما صناعة حمض الخليك (الخل) فتتضمن مرحلتين ، الأولى تخمر مادة كربوإيدراتية (مثل الموجودة فى عصير الفواكه أو المولاس) إلى كحول ، والثانية تأكسد الكحول الناتج إلى حمض خليك . وتتم العملية الأولى بوساطة فطرة الخميرة (Yeast) ، ثم تعدل درجة التركيز الكحولية إلى نسبة مئوية مناسبة تتراوح بين عشرة وثلاثة عشر قبل بدء عملية الأكسدة البكتيرية ، وتقوم بالعملية الثانية أنواع من جنس الأسيتوباكتر (Acetobacter) ، وتمثل المرحلتان بالمعادلتين الآتيتين :

(إنزيم الخميرة)

١ – ك٦ يد١٢ ا٦ ← ٢ ك ا٢ + ٢ ك٢ يد٥ ا يد

(جلوكوز) (تنفس لا هوائى) (كحول إيثيلى)

(إنزيم البكتيرة)

٢ – ك٢ يد٥ ا يد ← ك يد٣ ك ا ا يد + يد٢ ا

(كحول إيثيلى) (تنفس هوائى) (حمض خليك)

وتستغل القدرة الإنزيمية لبكتيرة « الأسيتوباكتر سبأوكسيدانس » (Acetobacter suboxidans) فى أكسدة السوربيتول اليمينى (D-sorbitol) إلى سوربوزيسارى (L-sorbose) فى صناعة فيتامين ج أو حمض الأسكوربيك .

أما استغلال الطاقة الإنزيمية البكتيرية البنائية فى العمليات الصناعية فتتمثل فى قدرة بكتيرة « ليكونوستوك ميسينترويديس » (Leuconostoc mesenteroides) فى تكوين مادة معقدة تعرف بالدكستران (Dextran) من سكر القصب ، ويستعمل الدكستران الناتج طبياً — بعد تحليله مائياً — كبديل لبلازما الدم فى عمليات نقل الدم .

وتستغل الطاقات الإنزيمية لبعض البكتيريا فى تعطين الألياف اللحائية لنباتات الكتان والتيل ، حيث تكون هذه الألياف ملتحمة مع بعضها البعض بمادة البكتين ، فتعمل الإنزيمات البكتيرية على إذابتها وتحليلها تحليلا مائياً ، وبذلك تنفصل الألياف عن بعضها البعض انفصالا تاماً ، وتعد هذه العملية من الأهمية بمكان فى صناعة المنسوجات الكتانية ، كما تقوم بعض أنواع البكتيريا بدور هام فى معالجة وتسوية أوراق التبغ ، ويتم ذلك بأن تعلق الأوراق فى الظل وتحت ظروف تحول دون سرعة جفافها ، فتقوم البكتيريا بإحداث تغيرات فيها ، من بينها تحليل ما بها من بروتينات وكربوإيدراتات ثم تعبأ الأوراق بعد ذلك فتحدث بها البكتيريا سلسلة أخرى من التغيرات خلال عدة شهور ، مما يؤثر على نكهة التبغ ، وبالتالى على قيمة السيجار والسجائر التى يستخدم فيها ذلك التبغ .

علم بكتيريا التربة (Soil Bacteriology) :

ويعرف هـــذا العلم كذلك باسم علم البكتيريا الزراعية (Agricultural Bacteriology) يختص بدراسة مدى انتشار بكتيريا التربة وما تقوم به من شتى وجوه النشاط ، وعلاقة ذلك بخصوبة التربة ونمو النباتات ، كما يهدف نحو إيجاد العلاقة بين البكتيريا والنباتات الراقية — سواء أكانت تكافلية (Symbiotic) أو تطفلية (Parasitic) — ودراســة الأمراض البــكتيرية التى تصيب النباتات والعمل على تهيئة الوسائل لمقاومتها وعلاجها . فالبكتيريا تلعب دوراً على أكبر جانب من الأهمية فى زيادة خصوبة التربة ، بتكوين

الدبال (Humus) ، وهو المادة المتكونة من البقايا النباتية والحيوانية بعد تعرضها للنشاط الإنزيمي لمختلف أنواع بكتيريا التربة وما يوجد معها من كائنات أخرى دقيقة كالفطريات ، ويعمل الدبال على تحسين الصفات الفيزيائية والتركيبية للتربة ، فيجعلها لينة مسامية ويزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالماء ، وتعمل الإنزيمات البكتيرية على تحويل المواد العضوية المعقد إلى مواد يمكن امتصاصها بواسطة النباتات ، فتحول المركبات المعقدة – كالمركبات الكربونية والنيتروجينية والكبريتية والفوسفاتية – إلى مواد بسيطة تستطيع النباتات الراقية امتصاصها واستغلالها .

ويدخل في نطاق علم بكتريا التربة دورتا الكربون والنتروجين اللتان سبق وصفهما . وتبدأ دورة النتروجين – كما ذكرنا من قبل بعملية انحلال بروتيني (Proteolysis) تعمل فيها بعض البكتريا ، مثل أنواع من الكلوستريديم والباسيلس ، بالتعاون مع بعض الفطريات ، على تحويل البروتينات الموجودة في البقايا النباتية والحيوانية التي بالتربة إلى احماض أمينية . ثم تعقب عملية الانحلال البروتيني عملية النشدرة التي تتولاها كثرة من البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى ، وتؤدي إلى أكسدة الأحماض الأمينية الناتجة من الخطوة السابقة إلى نشادر وأملاح نشادر وتأتي بعد النشدرة عملية النيترة التي يتم فيها تحويل النشادر إلى نتريتات بتأثير بكتريا النتريت ثم تحويل النتريتات الناتجة إلى نتراتات بتأثير بكتريا النترات .

كما تدخل في نطاق اهتمامات بكتريولوجيا التربة عمليات تثبيت النتروجين الجوي التي تعتبر هي وعمليات النيترة من العمليات المفيدة للتربة ، حيث تزيدان من خصوبتها بالعمل على زيادة محتواها من المواد النتروجينية القابلة للامتصاص النباتي . وهناك – كما ذكرنا من قبل – طرازان من البكتريا المثبتة للنتروجين : طراز لاتكافلي (Non-symbiotic) من كائنات تعيش حرة في التربة – مثل الأزوتوباكتر (Azotobacter) وبكتيرة كلوستريديم باستيريانم (Clostridium pasteurianum) ، وتستطيع استغلال غاز

النيتروجين الجزيئي الموجود في الجو كمصدر نتروجيني لغذائها ، وتحوله إلى مركبات نتروجينية ، تتراكم بموتها في التربة وتزيد من خصوبتها ، أما الطراز الآخر من البكتريا المثبته للنتروجين الجوى فهو بكتريا تكافلية تعيش متكافلة — أي متبادلة المنفعة — مع جذور بعض النباتات وعلى الأخص أفراد الفصيلة القرنية . ومن أمثلة هذا الطراز من البكتريا جنس رايزوبيام . وتدخل البكتريا الشعيرات الجذرية للنبات القرنى ، حيث تأخذ فى الأنقسام والتكاثر بداخلها ، ومن الشعيرات تتقدم إلى داخل خلايا القشرة ، وتتكاثر فيها أيضاً وتعمل على زيادة انقسامها ، مسببة تكوين العقد البكتيرية الخارجية على الجذور (شكل١٤٧) وتستوفى البكتيرة العقدية من النبات القرنى الذى تتكافل معه احتياجاتها الكربوهيدراتية ، بينما تمده هى بالمواد النتروجينية

وبالإضافة إلى البكتريا النافعة التى تزيد من خصوبة التربة هناك أيضاً بكتريا ضارة تنقص خصوبة التربة بإنقاص محتواها من المركبات النتروجينية الصالحة للامتصاص النباتى . هذه البكتريا تتمثل فى البكتريا العاكسة للنيترة التى سبق التحدث عنها والتى يتم بواسطتها اختزال النتراتات التى بالتربة إلى غاز النتروجين أو أكاسيده .

ويمكن تمييز ثلاثة طرز من البكتريا الضارة تختلف حسب قدرتها الإنزيمية على إتمام عمليات الاختزال النتراتى أو الانطلاق النتروجينى ، وهى :

١ — بكتريا تختزل النيترات إلى نيتريت (اختزال نيتراتى) حسب المعادلة :

يدن ا٣ + يد٢ ———← يدن ا٢ + يد٢ ا

٢ — بكتريا تختزل النيترات إلى نشادر (اختزال نيتراتى) حسب المعادلة

يدن ا٣ + ٤ يد٢ ———← ن يد٣ + ٣ يد٢ ا

٣ — بكتريا تختزل النيترات إلى نيتروجين غازى أو أكاسيده (انطلاق نيتروجينى) ومن أمثلته بكتريا الانطلاق الغازى « ثيوباسيلس دينيتريفيكانس »

(Thiobacillus denitrificans) و « ميكروكوكس دينيتريفيكانس » (Micrococcus denitrificans) .

وهناك فارق أساسي بين عمليتي الانطلاق النيتروجيني والاختزال النيتراتي ؛ إذ ينتج عن عملية الانطلاق النيتروجيني اختزال كلي للنيترات إلى نيتروجين غازي أو إلى أحد أكاسيده مثل أكسيد النيتروز (Nitrous oxide) ، أو إلى مخلوط من النيتروجين وأكاسيده ، أما عملية الاختزال النيتراتي فتعد عكس عملية النيترة تماما ، ولاينتج عنها سوى تحلل غير كامل للنيترات إلى نيتريت أو نشادر ، ومن ثم فعملية الانطلاق النيتروجيني التي تقوم بها بعض البكتريا تعد ضارة للغاية ، حيث يؤدي نشاطها إلى فقد تام لجميع النترات التي تؤثر عليها - مع ما يتبع ذلك من فقد لخصوبة التربة ، أما عملية الاختزال النيتراتي فتعد أقل ضررا حيث يمكن استغلال المتبقي بالتربة من النواتج النيتروجينية للتفاعل في صورة نشادر أو نيتريتات بواسطة البكتريا غير ذاتية التغذية وبكتريا التأزت أو النيترة .

وتختلف عمليتا انطلاق النيتروجين واختزال النيترات عن عملية النيترة في كونهما أكثر نشاطا تحت الظروف اللاهوائية للتربة ، ومما يساعد على حدوثهما وجود كميات كبيرة من المواد العضوية والماء بالتربة ، وهما لاينشطان بدرجة ملحوظة في التربة جيدة التهوية والتي تحتوي على مقادير متوسطة من المادة العضوية والنيترات ، ولكنهما يستحثان بدرجة خطيرة في التربة الغنية بالمواد العضوية والمشبعة بالماء ، فيسببان خسارة فادحة في النترات الهامة للنباتات ، الأمر الذي يقلل من خصوبة التربة الزراعية .

وتعيش في التربة أيضاً - كما تعيش في الهواء - بكتريا تصيب النباتات وتسبب لها الكثير من الأمراض ، منها ما تسبب تحويل الأنسجة المصابة إلى كتلة طرية كالعجينة ، ومنها ما تعمل على انسداد الحزم الوعائية للسيقان أو الجذور فتسبب ذبول النباتات ، ومنها ما تسبب أمراضاً ورمية أو بثرات موضعية .

تصنيف البكتريا

في تصنيف البكتريا يكون لوظائف الخلايا من الأهمية مثل ما لصورها وأشكالها ، بل إن كثيرا من البكتريا تصنف في الواقع على أساس الوظائف التي تؤديها ، وليس على أساس أشكالها التي تبدو عليها ، ومن الممكن تقسيم ثلاثة الآلاف نوع من البكتريا تقريباً المعروفة حتى الآن إلى عدد من المجموعات الرئيسية على أساس (أ) خصائص الجدار ، (ب) مصدر الطاقة والكربون ، (جـ) شكل الخلية ، (د) طريقة الحركة ، (هـ) مدى احتياجها للأكسجين ، (و) التجرثم أو عدمه . وفي تصنيف أصدره برجي (Bergey) عام ١٩٧٤ قسمت البكتريا إلى الأقسام التسعة عشر الآتية :

١ — البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (Phototrophic Bacteria)

٢ — البكتريا المنزلقة (Gliding Bacteria)

٣ — البكتريا الغمدية (Sheathed Bacteria)

٤ — البكتريا المتبرعمة وذوات الزوائد
(Budding and/or Appendaged Bacteria)

٥ — البكتريا اللولبية (Spirochaetes)

٦ — البكتريا الحلزونية (Spiral and Curved Bacteria)

٧ — البكتريا العصوية والكروية الهوائية السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negative Aerobic Rods and cocci)

٨ — البكتريا العصوية اللاهوائية اختياريا السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negayive Facultively Anaerobic Rods)

٩ — البكتريا اللاهوائية السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negative Anaerobic Bacteria)

١٠ — البكتريا الكروية والعصويكروية السالبة لصبغة جرام
(Gram Negative Cocci and Coccobacilli)

١١ — البكتريا الكروية اللاهوائية السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negative Anaerobic Cocci)

١٢ - البكتريا كيميائية التغذية الذاتية السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negative chemoautotrophic Bacteria)

١٣ - البكتريا المنتجة للميثان (Methane-producing Bacteria)

١٤ - البكتريا الكروية الموجبة لصبغة جرام (Gram-Positive Cocci)

١٥ - البكتريا العصوية والكروية المنتجة لجراثيم داخلية
(Endospore-Forming Rods and Cocci)

١٦ - البكتريا العصوية عديمة التجرثم الموجبة لصبغة جرام
Gram-Positive Asporogenous Rod-shaped Bacteria)

١٧ - الفطريات الشعاعيه وأقاربها
(Actinomycetes and Related Organisms)

١٨ - الرايكتسيات (Rickettsias)

١٩ - الميكوبلازمات (Mycoplasmas)

وسنتحدث بإيجاز عن أهم هذه الأقسام (أو المجموعات)

البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (١) :

هذه البكتريا سالبة لصبغة جرام ، كروية الشكل أو قصبية أو حلزونية وبعض أنواعها ذوات أهداب ، وتكون خلاياها أحيانا منظومة فى سلاسل وتختلف ألوانها بين القرمزى والأخضر والأصفر والبرتقالى والبنى حسب لون الأصباغ شبه الكاروتينية الموجودة بها . وفى بعض الخلايا توجد فقاعات غازية . وهذا القسم من البكتريا لا وجود له إلا فى عدد محدود من البيئات المائية ، كبعض البرك الضحلة ، وفى الطبقات العميقة اللاهوائية ببعض البحيرات (عمق ٢٥ مترا) ، وفى الينابيع الحارة الغنية بالكبريتيدات . ويستطيع كثير من أنواع البكتريا التابعة لهذا القسم تثبيت النتروجين ، ويكون جنس كلوروفلكسس **(Chloroflexus)** كتلا من خيوط بكتيرية برتقالية أو خضراء ، تصل ثخانتها إلى عدة ملليمترات ، وتشبه كتل الطحالب الخضر المزرقة ، أما جنسا هالوكوكس **(Halococcus)** وهالوبكتريم **(Halobacterium)** فيعيشان فى المياه ذات الملوحة العالية

ولا يحتويان على كلوروفيل بكتيرى ولكن على مادة بروتينية تسمى باكتريورودوبسين (Bacteriorhodopsin) تستطيع امتصاص الطاقة الضوئية وتخليق مادة الأدينوسين ترايفوسفات (ATP) ذات الأهمية القصوى فى نقل الطاقة أثناء التفاعلات التى تحدث داخل الخلايا الحية .

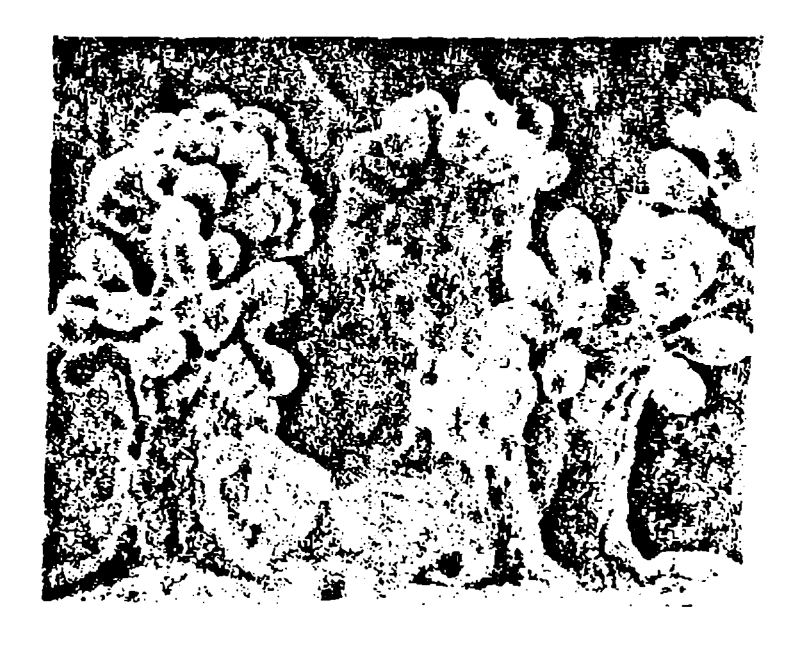
البكتريا المنزلقة (٢) :

تضم البكتريا المنزلقة كثيرا من الأنواع السالبة لصبغة جرام ، وبالرغم من تسمية هذه المجموعة بالمنزلقة فإنها لاتضم جميع البكتريا التى تتحرك بالانزلاق ، ذلك أن هناك جنسا من البكتريا الخضراء التى تستطيع القيام بعملية البناء الضوئى تتحرك هى أيضاً بالانزلاق ، ولكنها مع ذلك تتبع مجموعة البكتريا ضوئية التغذية الذاتية ، وهذا الجنس هو المعروف باسم « كلوروفلكسس (Chloroflexus) . وتندرج تحت قسم البكتريا المنزلقة مجموعة البكتريا المخاطية (Myxobacteria) ؛ وهى كائنات قصبية الشكل تكون مستعمرات منغمسة فى مادة مخاطية لزجة . وتنتج أفراد هذه المجموعة جراثيم ؛ إما أن تكون محمولة فرادى وإما فى مجموعات ذوات أعناق ؛ كما فى حالة البكتيرة المخاطية المعروفة باسم « كوندروميسس كروكاتس (Chondromyces crocatus) (شكل ١٥٢) وتعيش هذه البكتريا عادة فى التربة ، وتفرز إنزيمات تستطيع إحداث انحلال ببكتيريا أخرى ، أو تمكنها من هضم السليلوز .

السبيروكيتات (٥) :

أفراد هذه المجموعة تتميز بخلاياها الطويلة اللدنة اللولبية التى تستطيع أن تسبح بأهداب محورية ، وهى سالبة لصبغة جرام ، وتعيش بعض أنواعها معيشة حرة لاهوائية فى الطين أو المـــاء ، بينما يتطفل البعض الآخر على الرخويات أو الفقاريات (بما فيها الإنسان) . ويسبب أحد أفرادها المعروف باسم (تريبونيما باليـــدم » (Treponema pallidum) (شـــكل ١٥٣)

(شكل ١٥٢)



صورة بالمجهر الإلكترونى للأجسام الثمرية الخاصة بالبكتيرة المخاطية «كوندروميسس كروكاتس»

Chondromyces crocatus (تكبير ٨٢٠ مرة)

(شكل ١٥٣)

بكتيرة تريبونيما باليدم المسببة لمرض الزهرى

مرض الزهرى (Syphilis) ؛ كما يسبب جنس بوروليا (Borrelia) الحمى المتقطعة (Relapsing fever) وجنس ليبتاسبيرا (Leptaspira) نوعا من اليرقان (Jaundice) .

البكتريا الهوائية السالبة لصبغة جرام (٧) :

تضم هذه المجموعة عددا من أجناس البكتريا ذات الأهمية الاقتصادية مثل جنس رايزوبيم (Rhizobium) الذى يثبت النتروجين الجـوى بطريقة تكافلية مع النبـاتات القرنية ، وبكتريا حمض الخليك (Acetic acid Bacteria) التى تنتـج الخل ؛ ومنها أيضاً أنواع تكون سلاسل من الخلايا يحيط بكل سلسلة منها غشاء يغلف الجدر ؛ ويتكون الغمد من مواد بروتينية وعديدات تسكر (Polysaccharides) وليبيدات ؛ ومن هـذه المجموعة أيضا خلايا تفرز من حولها طبقة مخاطية تحيط بالخلية ؛ مكونة مايسمى علبة (Capsule) . ومن أجناس هـذه المجموعة جنس كاولوباكتر (Caulobacter) ذو الخلايا المعنقه . ولها مواسك (holdfasts) عند قواعد أعناقها تثبتها فى الطبقة التحتية التى تعيش فوقها .

البكتريا العصوية اللاهوائية اختياريا السالبة لصبغة جرام (٨)

يطلق على هذه البكتريا أيضاً اسم « بكتريا الأمعاء » (Enteric Bacteria) ومن أمثلتها بكتيرة « إيشريشيا كولاى» (Escherichia coli) الموجودة بوفرة فى القناة الهضمية للإنسان ؛ ومنها أيضاً جنس «سالمونيلا » (Salmonella) الذى يسبب حمى التيفود والتسمم الغذائى ، وجنس « شيجلا » (Shigella) الذى يسبب مرض الديزنطاريا البـكتيرية ؛ وجنس « إروينا » (Erwina) الذى يسبب تعفن الكمثرى وغيرها من الفواكه ؛ وجنس « برسينيا » (Yorsinia) الذى يسبب مرض الطاعون .

البكتريا كيميائية التغذية الذاتية السالبة لصبغة جرام (١٢)

هذه مجموعة كبيرة الأهمية فى إنجاز دورة المواد الغذائية فى المحيط

البيولوجى ، وهى واسعة الانتشار فى التربة والمـاء ، كما يوجد بعضها فى الينابيع الحارة ، ويختلف فيها شكل الخلايا بين الكروى والعصوى والحلزونى ، وبعضها تتحرك بأسواط والبعض بالانزلاق ، وفى بعضها تكون انثناءات الغشاء البلازمى للداخل غائرة (شكل ١٤٥) وهناك أربعة أقسام من بكتريا هذه المجموعة تختلف من حيث نوع تفاعل الأكسدة الذى يستمد منه الطاقة ، وهى :

بكتريا النيترة ن يد$_٣$ ← ن أ$_٢^-$ ← ن أ$_٣^-$

بكتريا الكبريت يد$_٢$ كب أو كب أو كب$_٢$ أ$_٣^{--}$ ← كب أ$_٤^{--}$

بكتريا الحديد ح$^{++}$ ← ح$^{+++}$ ، م$^{++}$ ← م$^{+++}$

بكتريا الإيدروجين يد$_٢$ ← يد$_٢$أ

البكتريا الكروية والعصوية المنتجة لجراثيم داخلية (١٥)

هذه المجموعة أيضاً واسعة الانتشار فى التربة . وإذا تلوث جرح عميق بتربة تحتوى على بكتيرة « كلوستريديم » (Clostridium) فإن التلوث قد يصيبه بمرض التتانوس أو الغنغرينا . كما يمكن أن توجد بكتيرة كلوستريديم أيضاً على الحبوب والخضر كالقمح والفول ، وإذا لم تقتل بكتيرة « كلوستريديم » (Clostridium botulinum) أثـناء عمليـة تعليب الأغذية البروتينية المحفوظة فإنها تنمو وتتكاثر فى المادة المعلبة ، منتجة سما من أقوى السموم المعروفة ، ومن حسن الحظ أن خطر التسمم بالسموم البوتشولينيه قد انقشع أو كاد فى الوقت الحاضر بسبب تقدم عمليات التعليب الصناعى للأغذية المحفوظة المدرجة تكفل قتل جميع الميكروبات والجراثيم ، وحتى عمليات التعليب التى تجرى فى المنازل — خارج نطاق المصانع المتخصصة — أصلح يتولاها أشخاص مثقفون جيداً ، مما يجعل من غير المحتمل بقاء أية خلايا من بكتيرة « كلوستريديم » المفرزة للسموم حية داخل المادة المعلبة — تماماً كما يحدث فى التعليب التجارى داخل المصانع .

الفطريات الشعاعية (١٧)

وهى موجبة لصبغة جرام ، لها ثالوسات تشبه ثالوسات العفن وغيره من الفطريات وتنمو الخلايا وتنقسم مكونة خيوطا متفرعة ومتشابكة كالغزل الفطرى ، ولاتوجد بالخيوط جدر مستعرضة ، وإن وجدت كانت متباعدة أشد التباعد ، وتتكون الجراثيم (أحيانا جراثيم داخلية) فى أطراف الخيوط ، وأكبر أجناس الفطريات الشعاعية هو جنس « ستربتومايسس » (Streptomyces) (شكل ١٥١) ، وهو واسع الانتشار فى التربة ، وتتسبب عن وجوده بوفرة الرائحة المميزة للتربة الرطبة ، ويعتبر جنس ستربتومايسس أحد المصادر الهامة للمضادات الحيوية .

الرايكتسيات (١٧)

وهى عصوية الشكل قصيرة ، سالبة لصبغة جرام ، متطفلة إجباريا لايمكن زرعها على أوساط غذائية غير حية ولاتستطيع القيام بأنشطتها الأيضية بمنأى عن خلايا أخرى حية ، وهى تسبب فى أمريكا الحمى المعروفة باسم «حمى جبال روكى المرقشة» (Rocky Mountain Spotted Fever) كما أنهـا تسبب أمراضا أخرى للإنسان مثل حمى التيفوس (Scrub Fever) وتوجد أيضاً فى الحشرات التى تمتص عصارة النباتات ، كحشرات المن (Aphids) ، مما يوحى بإمكان وجودها فى النباتات أيضاً ، وقد أمكن فى فى عام ١٩٧٠ عزل كائن يشبه الرايكتسيات تماما من « الحامول » (Dodder) — أحد النباتات الزهرية المتطفلة — ولقد ظل مرض العنب المعروف باسم « مرض بـيرس » (Pierce's disease) غامضا زمنا طـويلا ، وترجع تسميته بهذا الاسم إلى مكتشفه « بيرس » عام ١٨٨٠ ،ولوحظ وجود بكتريا تلازم الأنسجة المريضة ، ولكن لم يستطيع أحد فصل تلك البكتريا ولا زراعتها فى مزارع نقية . وقد شغل البحث عن الكائن المسبب لهذا المرض الباحثين زمنا طويلا يقارب المائة عام ، وفى عام ١٩٧٢ اكتشف كوهين — مستعينا بالمجهر الإلكترونى — وجود كائنات شبيهة بالرايكتسيا فى نبات العنب المصاب لها نفس أعراض مرض بيرس .

الميكوبلازمات (١٩)

وتعرف الميكوبلازمات أيضاً باسم « الكائنات شبيهة البلير ونيومونيا » (Pleuropneumonia-Like Organisms) ، ويشار إليها عادة بالرمز (PPLO)، وذلك بسبب ما عرف عنها منـــذ زمن بعيـــد من أنها تسبب إصابة الماشية بمرض معد يقال له « ذات الجنب والرئة » (Pleuropneumonia) فيه يلتحم غشـــاء الجنب فى الحيوان المريض مع رئته . ويرجع تاريخ اكتشاف هـــذا المرض إلى عام ١٨٩٨ حين نجح نوكارد وروكس (Nocard & Roux) فى الحصول على الكائنات المسببة لهذا المرض من سائل الغشاء الجنبي لخلايا مصابة به وذلك بنقله إلى منابت خاصة أثريت بدماء أو أمصال ، ووجد المستكشفان أن الكائنات المعزولة تتميز بضعف نموها وضآلته وصغر أحجامها وتعدد أشكالها وقلة اصطباغها ، ونظراً لضآلة أحجامها تستطيع المرور من خلال المرشحات البكتيرية التى تحول دون مرور البكتريا العادية ومن ثم فهى تشارك الفيروسات القدرة على المرور من خلال المرشحات البكتيرية ، وتعد هذه صفة بدائية ، ولوحظ أنها توجد فى المزارع المعملية فى صورة حبيبات تكاد تبلغ فى ضآلة أحجامها حبيبات الفيروسات ، إذ تتراوح أقطارها ما بين ١٢٥ — ١٥٠ ملليميكرون ، إلا أنها تختلف عن الفيروسات الحقيقية فى قدرتها على النمو والتكاثر فى منابت مزرعية خالية من الخلايا الحية ، وذلك على النقيض من الفيروسات التى لا تستطيع النمو والتكاثر إلا على منابت غذائية محتوية على خلايا حية قابلة للإصابة بتلك الفيروسات .

وتضم مجموعة الميكو بلازمات أصغر الكائنات الخلوية المعروفة حتى الآن ، إذ يقل حجمها عن ٠,١ ميكرون مكعب ، أى حوالى $\frac{1}{10}$ حجم خلية بكتيرية عادية مثل خلية « إيشريشيا كولاى » (E. coli) . ولا يوجد جدار خاوى لهذه الكائنات ، وشكل الخلية متغير ، وهى تحتوى على حوالى ربع كمية (د ن أ) الموجودة فى خلية إيشريشيا كولاى ، وبعض الميكوبلازمات تسبب أمراضاً نباتية يتم انتقالها وانتشارها عن طريق حشرات النطاط (Grasshoppers) أو عن طريق التطعيم (Grafting) . وتختلف أعراض المرض ما بين الاصفرار والنمو الشاذ ، كما فى لحاء أشجار الخوخ المصابة (شكل ١٥٤) .



(شكل ١٥٤أ)



الكائنات الميكوبلازمية فى إحدى الأنابيب الغربالية لنبات الخوخ الذى تظهر عليه أعراض المرض المسمى (مرض الخوخ)

ويبدو أن الميكوبلازمات موزعة على نطاق واسع ، فقد تم عزلها من مياه المجارى ومن المواد العفنة المتحللة ، ومن الكلاب والفئران وغيرها من الحيوانات ، ويمكن إنماؤها على وسط غذائى صناعى يضاف إليه منقوع القلب البقرى ومصل الدم وبعض مواد أخرى .

وهناك أمراض نباتية أهم أعراضها اصفرار النباتات المصابة ، وطالما أطلق على هذه الأمراض اسم « الاصفرارات الفيروسية » (Virus Yellows)

وذلك لأنه كان يعتقد خطأ أنها أمراض فيروسية . وقد أمكن حديثاً إثبات أن أكثر من ثلاثين من تلك الأمراض الاصفرارية إنما سببها الميكوبلازمات . وثمة أمراض أخرى كثيرة كان يعتقد أنها مسببة من إصابات فيروسية ثم ثبت الآن أن سببها الميكوبلازمات ومن أمثلتها بعض أمراض الكمثرى والحمضيات والخوخ والكريز . وقد أدى التعرف على المسبب الحقيقى للمرض إلى معرفة العلاج الشافى منه .

وقد أمكن حديثاً عزل الكثير من سلالات جنس « ميكوبلازما » ودراستها تفصيلياً بأحدث التقنيات ، حيث تبين وجودها طليقة الحياة فى التربة ومياه المجارى ، كما وجدت متطفلة على الأغشية المخاطية العادية للإنسان والحيوان ، وترتبط بالعديد مما يصيبها من حالات مرضية . وعزلت من الإنسان عدة أنواع متميزة من هذا الجنس ، من بينها نوع يعرف باسم «ميكوبلازمانيومونى» (Mycoplasma Pneumoniae) يسبب مرضاً يشبه النيمونيا (ذات الرئة) ، أما النوع الذى قام كل من نوكارد وروكسى بفصله من الماشية وزراعته فهو المعروف حالياً باسم ميكوبلازماميكويدس (Mycoplasma mycoides).

والأصل فى تسمية الميكوبلازمات بهذا الاسم أنه كان يعتقد فى وقت من الأوقات انتماؤها إلى الفطريات ، ومعنى كلمة « ميكوبلازما » هو « البلازما الفطرية » ، ثم تبين فيما بعد — نتيجة لمزيد من الدراسات — أنها أقرب شبهاً إلى البكتريا منها إلى الفطريات ، بيد أنها تختلف عن البكتريا الحقيقية فى افتقارها إلى وجود جدار محدد للخلية ، حيث لا تحاط الخلية الميكوبلازمية إلا بغشاء رقيق مرن (قابل للتشكل) يقوم بوظيفة الغشاء الخلوى نصف النفاذ ، ومن ثم فالخلية الميكوبلازمية متعددة الأشكال (Pleomorphic) ، على عكس الخليــة البكتيرية الحقيقية ذات الشــكل الثابت المميز ، كما أن المادة الكروماتينية لا تنتظم فى شبه نواة مركزية ، كما هو الشأن فى البكتريا الحقيقية ، بل توجد على شكل ليفية طويلة ملتوية فى بعض الأجزاء تكاد تشغل جميع حيز الخلية . وتوجد بين الميكوبلازمات أصغر أحجام الخلايا الحية التى تستطيع الاعتماد على نفسها والاستقلال بذاتها

فى الحياة ، وذلك برغم تشابه أحجامها مع أحجام فيروس الإنفلونزا والفيروسات الأخرى الهلامية .

الوضع التصنيفى للميكوبلازمات

تتشابه البكتريا الحقيقية مع الميكوبلازمات من حيث كونها بدائية النواة وذات قدرة على النمو فى منابت غذائية خالية من الخلايا الحية ، إلا أن الميكوبلازمات ترتبط كذلك مع الفيروسات بعدد من الخصائص ، منها ضآلة الأحجام والتشكل والقدرة على النفاذ من خلال المرشحات البكتيرية ، ونتيجة لذلك اعترفت اللجنة الدولية لتسمية البكتريا عام ١٩٦٦ بأن الميكوبلازمات تختلف إلى حد كبير عن البكتريا بحيث تكون بذاتها قسماً خاصاً بها أطلق عليه اسم « مولكيوتات » (Mollicutes) . ومما عزز من ذلك الاتجاه نحو فصل الميكوبلازمات عن البكتريا ثبوت بطلان الاعتقاد السابق بوجود صلة بين الميكوبلازمات والبكتريا ، ذلك أنه ساد الاعتقاد فى وقت من الأوقات بوجود علاقة بين الميكوبلازمات وطرز خاصة من النموات البكتيرية تعرف باسم الطرز اللامية (L-forms) ، تتكون تحت ظروف بيئية معينة من أجسام هشة ومرنة ، وتتباين فى تركيبها ما بين حبيبات دقيقة يبلغ قطرها ٢ر ميكرون وتمر من خلال المرشحات البكتيرية وكريات كبيرة نسبياً تصل أقطارها إلى عشرة ملليميكرونات . وتتكون هذه الطرز نتيجة لما يعترى الخلايا البكتيرية من انحلال أو التفاف مع التقدم فى السن أو التعرض لظروف بيئية غير ملائمة . وتختلف هذه الطرز اللامية من البكتريا عن الميكوبلازمات فى كونها غير قادرة على التطفل بحال من الأحوال .

وتعد الميكوبلازمات والبكتريا من بدائيات الأنوية اللايخضورية (Non-chlorophyllous Procaryotes) . وإذا كانت الميكوبلازمات تعد حلقة اتصال بين البكتريا والفيروسات فإن الفجوة الواسعة بين هذين القسمين أمكن تضييقها مؤخراً إلى حد ما باكتشاف كائنات تتوسط فى خواصها بين الميكوبلازمات والبكتريا ، ألا وهى مجموعة الرايكتسيات (Rickettsiae) التى كانت تصنف من قبل فى رتبة خاصة من البكتريا تعرف

باسم رايكتسيات (Rickettsiales) ، ولكن البعض يصنفها مع الفيروسات لمشابهتها للأخيرة فى بعض الصفات ، ويضعها تحت قسم خاص منهـا أطلق عليه اسم « ميكروتاتوبيوتات » (Microtatobiotes) .

وفيما يلى مقارنة جدولية بين الفيروسات والميكوبلازمات والرايكتسيات والبكتريا من حيث الشكل والحجم ونوعية التطفل والتعضى والنفاذ خلال المرشحات .

مقارنة بين الفيروسات والميكوبلازمات والرايكتسيات والبكتريا

جدول ٣

الكائنات	الشكل الخارجى	الحجم ميكرون	نوعية التطفل	التعضى	النفاذ من خلال المرشحات
فيروسات	بلورات نيوكليوبروتينية (عديدة التشكل)	٠,٠١-٠,٣	إجبارى	غير خلوى	نافذة
ميكوبلازمات	حبيبات بروتوبلازمية (عديدة التشكل)	٠,١-١٥	اختيارى	خلوى (عدم الجدار)	نافذة
رايكتسيات	عصوية أو كروية أوفى ثنائيات أوسلاسل كروية	٠,٣-٠,٦	إجبارى	خلوى (له جدار)	بعضها نافذة والبعض غير نافذة
بكتريا	عصوية ، كروية ، حلزونية ، لولبية — خيطية	٠,٥-٥٠	اختيارى	خلوى (له جدار)	غير نافذة

يتضح مما تقدم وجود اختلافات كثيرة فى الرأى بين المصنفين حول وضع مجموعتى الميكوبلازمات والرايكتسيات فبينما يرى برجى وكثيرون غيره إتباعهما للبكتريا يرى آخرون اعتبارهما مجموعتين مستقلتين من بدائيات الأنوية مثلهما كمثل الفيروسات والبكتريا والطحالب الخضر المزرقة.

الباب الخامس عشر

الطحالب الخضر المزرقة والفيروسات

أولا : الطحالب الخضر المزرقة

BLUE-GREEN ALGAE, CYANOPHYCEAE OR CYANOBACTERIA

يعالج علم الميكروبيولوجيا دراسة الكائنات بدائيات الأنوية عامة ، وتقسم بدائيات الأنوية فى رأى الكثيرين إلى الأقسام الرئيسية الآتية :

١ – **البكتريا الخضر المزرقة : (Cyanobacteria)** ، وتسمى أيضاً الطحالب الخضر المزرقة (Cyanophyceae) ، وهى نباتات خضراء تستطيع القيام بوظيفة البناء الضوئى ، وينتج الأكسجين فى تلك العملية .

٢ – **البكتريا : (Bacteria)** ، وهى إما أن تكون غير محتويه على كلوروفيل (وهى الأكثرية) أو يكون بها كلوروفيل (وهى قلة) ، والأخيرة لاينطلق منها أكسجين فى عملية البناء الضوئى .

٣ – **الفيروسات : (Viruses)** ، وجميعها متطفلة إجبارية على الكثير من أنواع النبات والحيوان – ومنها الإنسان – وتعيش داخل الخلايا الحية لعوائلها مسببة لها أمراضا خطيرة . ولاتكاد توجد صلة تصنيفية تربط الفيروسات بالقسمين الآخرين : الطحالب الخضر المزرقة والبكتريا .

وقد تحدثنا فى الباب السابق عن القسم الثانى وسنتحدث فى هذا الباب عن القسمين الأول والثالث .

فى عام ١٨٣٦ قسم العالم النباتى الإيرلندى هارفى الطحالب إلى الأقسام الثلاثة الآتية :

١ – الطحالب الحمر .　　　　٢ – الطحالب البنية .

٣ — الطحالب الخضر والخضر المزرقة .

وبذلك أتبعت الطحالب الخضر المزرقة للطحالب الخضر ووضعا معا فى قسم واحد ، ولم يبدأ تمييز الطحالب الخضر المزرقة كقسم مستقل ومنفصل عن الطحالب الخضر إلا فى عام ١٨٥٣ بواسطة ولهلم فون نيجلى (Wilhelm von Naegeli) السويسرى ، وكان أقدم اسم وضع لهذه الطحالب هو « الطحالب المخاطية أو الهلامية » (Myxophyceae) ، ولكن الاسم الأكثر شيوعا الآن هو الطحالب الخضر المزرقة .

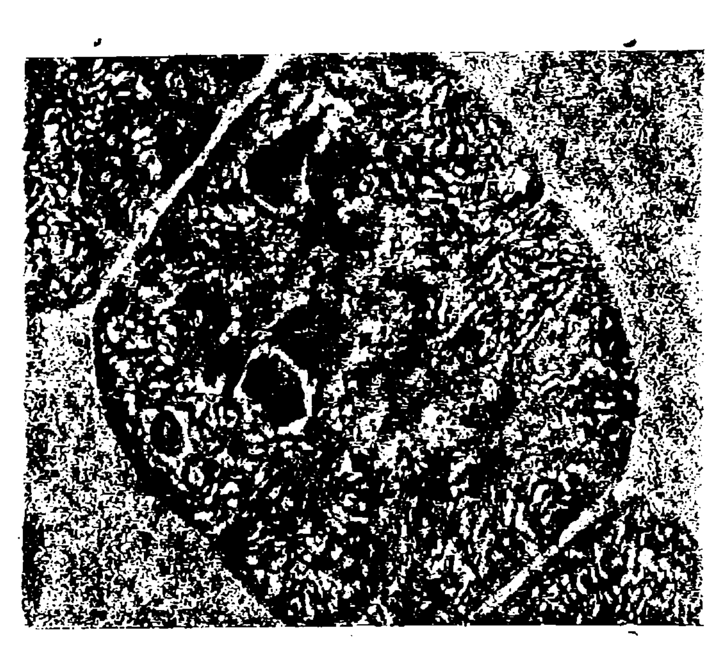
ويمكن تعريف الطحالب الخضر المزرقة بأنها :نباتات انشطارية (Schizophyta or Fission Plants) . بدائية النواة ، يوجد بها صبغ اليخضور « ا » (Chlorophyll a) وأصباغ فيكوبيلين (Phycobilin Pigments) وتستطيع أن تطلق غاز الأكسجين نتيجة لعملية البناء الضوئى التى تقوم بها . وتتميز عن بقية أقسام الطحالب بتعضيها البروتوبلازمى بدائى النواة ، بينما تتميز عن البكتريا بقدرتها على القيام بوظيفة البناء الضوئى ، والقلة من البكتريا التى تقوم بوظيفة البناء الضوئى لايوجد بها كلوروفيل (أ) الموجود فى الطحالب الخضر المزرقة ، كما لاينطلق منها غاز الأكسجين كأحد نواتج تلك العملية . كذلك تختلف الطحالب الخضر المزرقة عن البكتريا من النواحى الكيميائية والسيتولوجية والأيضية والمورفولوجية جميعا ، ويتراوح حجم خلاياها ما بين ٥ ، ٥٠ ميكرونا ، بالمقارنة بحجم الخلايا البكتيرية الذى يتراوح ما بين ٠١ ر ، ٥ ميكرونات ، وبالخلية الطحلبية الخضراء المزرقة ضعف ما بخلية بكتيرية حقيقية مثل بكتيرة إيشيرشيا كولاى من مادة (د ن ا) .

ولقد كان الدافع إلى تسمية هذه المجموعة من الكائنات بدائية النواة باسم « الطحالب الخضر المزرقة » هو مشابهتها للطحالب الخضر حقيقية النواة ، ولبقية النباتات الخضر الأرقى من الطحالب فى القدرة على القيام بعملية البناء الضوئى بطريقة مماثلة لمـــا يحدث فى البلاستيدات الخضر

ومع ذلك فإن تزايد الإحساس مؤخرا بأن هذه الكائنات أقرب صلة إلى البكتيريا الحقيقية منها إلى الطحالب الخضر والنباتات الراقية من حيث خصائصها الكيموحيوية وأنويتها البدائية قد أدى إلى تفضيل تسميتها البكتريا الخضر المزرقة بدلا من الطحالب الخضر المزرقة .

وتنتج الطحالب (أو البكتريا) الخضر المزرقة — إلى جانب صبغ كلوروفيل «أ» — أصباغا أخرى إضافية فريدة فى نوعها . ويحدث البناء الضوئى على مجموعة من الأغشية المتوازية الممتدة داخل السيتوبلازم

(شكل ١٥٥)



قطاع رقيق بالمجهر الإلكترونى فى الطحلب الأخضر المزرق « نوستوك برونيفورمى » Nostoc pruniforme الذى ترى به إحدى الخلايا فى حالة انقسام . ويلاحظ أن الحاجز الممتد داخل الخلية يمر بين الصفائح التمثيلية على جانبى الخلية — وهى الصفائح المتعرجة . أما المنطقة الوسطى الخالية من الصفائح فهى الجسم المركزى .

(شكل ١٥٥) ، وليس فقط على امتدادات للداخل من الغشاء البلازمى الخارجى (Plasmalemma) كما فى البكتريا ضوئية التغذية الذاتية ، وهذه الأغشية البلازمية الداخلية قد تكون منقطعة الصلة بالغشاء البلازمى الخارجى .

الأصباغ : (Pigments)

جميع الكائنات الحية التى تقوم بوظيفة البناء الضوئى - فيما عدا جنس البكتيريا المعروف باسم « هالوباكتيريم » (Halobacterium) يوجد بها يخضور ، ترافقه أصباغ أخرى شبه كاروتينية (Carotenoid pigments) واليخضور الموجود فى الطحالب الخضر المزرقة هو دائما يخضور «أ» ولا يخضور سواه . ويخضور «أ» يعتبر طراز اليخضور الأساسى فى جميع الكائنات الحية التى تقوم بالبناء الضوئى - فيما عدا البكتيريا ضوئية التغذية . أما الصبغ شبه الكاروتينى الموجود فى الطحالب الخضر المزرقة فهو أساساً بيتا كاروتين (B-Carotene) الموجود فى بقية الطحالب وفى النباتات الخضراء الأرقى منها ، كما توجد أيضاً كمية محدودة من صبغين شبه كاروتينين آخرين هما مكسوزانثين (Myxoxanthin) ومكسوزانثوفيل (Myxoxanthophyll) ، وهناك بعض طحالب خضر مزرقة أخرى بها أصباغ أخرى شبه كاروتينية .

وبالإضافة إلى يخضور «أ» والأصباغ شبه الكاروتينية توجد بالطحالب الخضر المزرقة أيضاً طائفة أخرى من الأصباغ يطلق عليها اسم «فيكوبيلينات» (Phycobilins) . وهى أصباغ إضافية هامة تتميز بها الطحالب الخضر المزرقة والطحالب الحمر والكربتومونادات (Cryptomonads) ، والأخيرة مجموعة صغيرة من الكائنات ذوات الأهداب وحيدة الخلية . وهناك نوعان من الأصباغ الفيكوبيلينية وهما الفيكوسيانينات (Phycocyanins) التى تمتص ألوان الطيف الخضراء والصفراء والحمراء ، بينما تنفذ اللون الأزرق ، والفيكوإريثرينات (Phycerythrins) وهى التى تمتص الأشعة الخضراء المزرقة والخضراء والصفراء ، بينما تنفذ الأشعة الحمراء . وتحتوى معظم الطحالب الخضر المزرقة على صبغ الفيكوسيانين الأزرق وبعضها على صبغ الفيكو إرثرين الأحمر أيضاً ، وقلة تحتوى على الفيكوإرثرين ولكنها تفتقر إلى الفيكوسيانين وبذلك تبدو حمراء . ويقال إن البحر الأحمر

يشتق اسمه من وفرة وجود طحلب أخضر مزرق به يعرف باسم تريكوديسميام إريثريم « (Trichodesmium erythraeum) لونه أحمر بسبب قوة تركيز الصبغ الأحمر به . وينتشر وجوده بكثرة فى بعض الأوقات وبعض المواضع حتى يضفى على الماء لونا أحمر . وغالباً ما تكون الأصباغ الفيكوسيانينية والفيكوإرثرينية الموجودة فى الطحالب الخضر المزرقة غير مماثلة تماما لنظائرها فى الطحالب الحمر وفى الكربتومونادات ، ويكون الاختلاف عادة فى بعض خصائص طفيفة للمكون البروتينى فى هذه الأصباغ ،

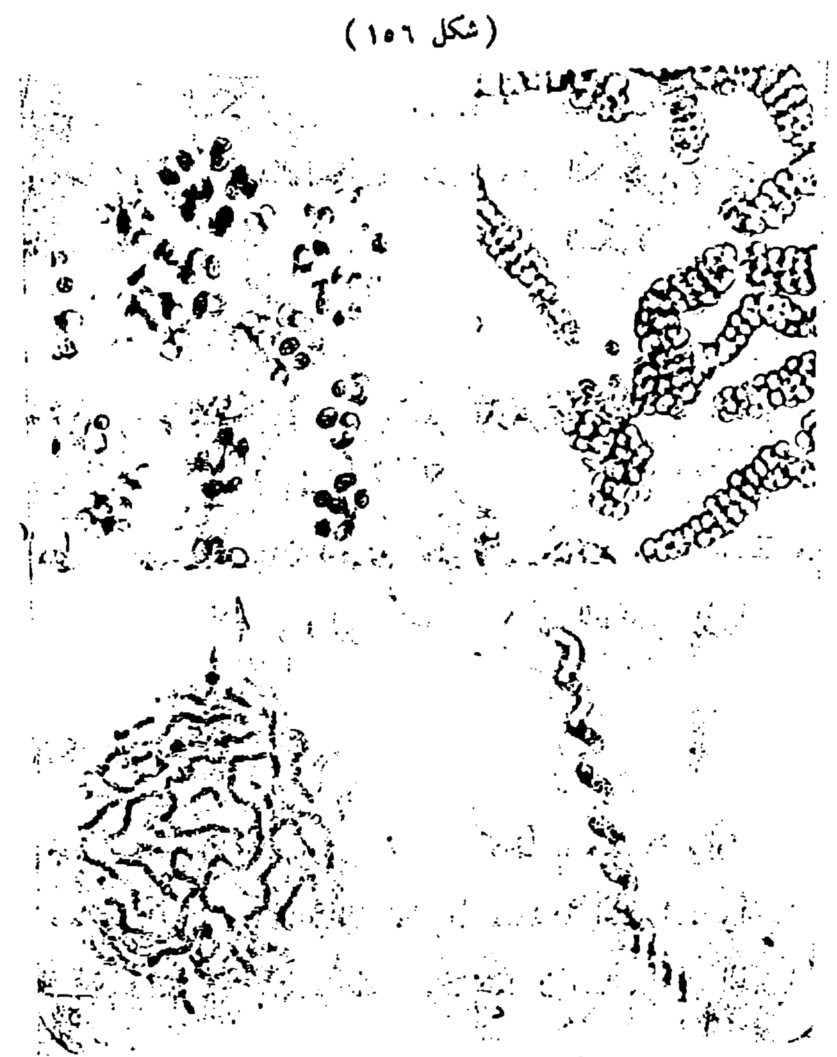
واللون العام للطحالب الخضر المزرقة هو ما يدل عليه اسمها ، ولكن اختلاف أنواع الأصباغ ونسبها فى الأنواع المختلفة من تلك الطحالب يمكن أن يؤدى إلى ظهور ألوان أخرى كثيرة ، منها درجات مختلفة من اللون القرمزى والأحمر والأصفر والبنى والمسود (أى الضارب إلى السواد) .

الشكل الخارجى :

توجد الطحالب الخضر المزرقة إما كخلايا منفردة وإما كمستعمرات خلوية صغيرة كما توجد أحيانا كخيوط متعددة الخلايا ، وأحيانا تتجمع هذه الخيوط نفسها فى مستعمرات ، وقد تكون مستعمرات الخلايا مفلطحة رقيقة سمكها خلية واحدة ، أو تكون كروية وجوفاء ، أو تكون مطولة (Elongate) وخيطية (Quasi-filamentous)، أو تكون مصمتة ومكعبة أو عديمة الشكل (شكل١٥٦). وقد تظل الأعمدة الجيلاتينية التى تغلف الخلايا ظاهرة بوضوح فى الطرز المستعمرية أو تختفى ، أما فى الطرز الخيطية الحقيقية فإن جدر معظم الخلايا المتجاورة تتلاصق مباشرة دون أعمدة تفصلها عن بعضها البعض . وتسمى كل سلسلة من الخلايا المكونة لخيط واحد باسم « تريكوم » (Trichome) ولكل تريكوم غمد جيلاتينى واحد يغلف جميع خلاياه ، وخلايا الخيط الواحد إما أن تكون جميعها متماثلة . وإما غير

متماثلة . ومن أمثلة الطرز الخيطية للطحالب نوستوك (Nostoc) (شكل ١٥٧) وأوسيلاتوريا (Oscillatoria) .

(شكل ١٥٦)



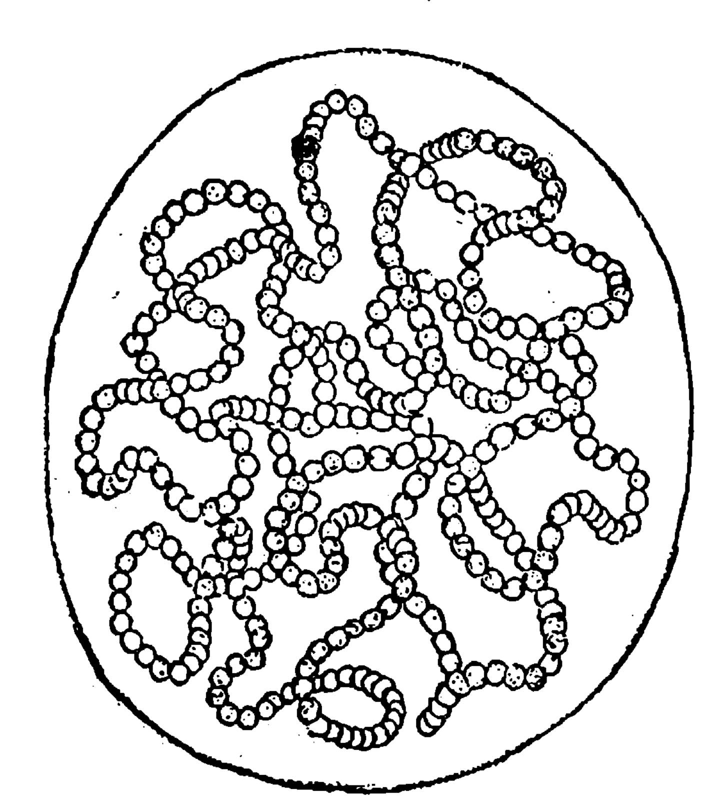
الأشـكال المختلفة للطحالب (أو البكتريا) الخضر المزرقة . أ ، ب مستعمرات مفككة من أحد أنواع « جليوكابسا » Gleocapsa و « فيشريلا ميوسيكولا » Fischerella musicola (× ٨٠٠) . ويلاحظ الغمد الجيلاتيني المتميز المحيط بالجليوكابسا ، (ج) مستعمرة « نوستوك » Nostoc (× ٨٨٠) . (د) الطحلب الخيطي « أرثروسبيرا » Arhrospira . ويلاحظ وجود خيطين ملتفين أحدهما حول الآخر في الطرف البعيد

ولا توجد للطحالب الخضر المزرقة آلية تحرك وانتقال واضحة ، ومع ذلك فإن بعض طرزها الخيطية تتحرك رغم عدم وجود هذه الآلية ، إذ يستطيع الخيط بأكمله أن يتحرك ببطء إلى الأمام وإلى الخلف ، إما في

خط مستقيم وإما فى مسار حلزونى ، وقد يتحرك طرف الخيط فقط حركة تموجية بطيئة للأمام والخلف . ولكن آلية هذا التحرك غير متفق عليها حتى الآن . وتستطيع شعور (تريكومات) بعض الأنواع أن تتحرك بالانزلاق (Gliding) ولكن لاتوجد أسواط (Flagella) على الإطلاق فى هذا القسم من النباتات ، وتحدث الحركة الانزلاقية فقط عندما تلامس الخيوط سطحا صلبا . وتتحرك بعض الأنواع الخيطية بتمايل أطرافها (Flexing) .

وتضم الطحالب الخضر المزرقة نفس طرز وأشكال الخلايا الموجودة فى البكتريا الحقيقية (Eubacteria) . على أن عدداً كبيراً من أكثر هذه الطحالب انتشاراً هى التى تكون سلاسل من الخلايا أو خيوطاً طويلة ، من ذلك مثلا طحلب أوسيلاتوريا المكون من خلايا أسطوانية متصلة ببعضها البعض اتصالا وثيقاً عن طريق جدرها الطرفية . ويؤدى أحياناً تكون الأغمدة المخاطية التى

(شكل ١٥٧)



المستعمرة الخيطية للنوستوك، وترى الحويصلات المغايرة اللامعة بين الخلايا (عن سميث وآخرين).

تغلف بها الأنواع وحيدة الخلية نفسها إلى تكاثر تلك الأنواع وبقائها معاً دون تفرق فى مجاميع خلوية داخل الأغلفة المشتركة (شكل ١٥٨) .

وتتحور بعض خلايا الطرز الخيطية لأغراض شتى : منها تثبيت الخيط فى الطبقة التحتية التى تعيش فوقها ، ومنها التكاثر ، ومنها تأدية وظائف خاصة كتثبيت النتروجين .

التوزيع :

توجد الطحالب الخضر المزرقة بوجه عام فى المياه العذبة والملحة ، وهى أغزر فى الأولى منها فى الثانية . وتعتبر أحيانا الكائنات التمثيلية الرئيسية فى السلاسل الغذائية المائية ، وتغزر بنوع خاص فى المياه الضحلة الدافئة الغنية بالمواد الغذائية ، أو الملوثة (Polluted) الفقيرة فى الأكسجين . وقد تكون خلايا تلك الطحالب من الكثافة بحيث تلون الماء وتكسبه توردا ظاهرا . وقد يتخذ هذا التورد لونا أحمر فى حالة وجود أصباغ إضافية حمراء ، كما فى حالة تريكودزميام إرثريام ، وتزول معظم التوردات فى خلال بضعة أيام ، ولكن الخلايا يمكن أن تفرز سموم أعصاب مميتة لكثير من الحيوانات التى تشرب أو تستحم فى المياه التى تنمو بها تلك الطحالب ، وتستطيع أجناس ميكروسستس (Microcystis) وأنابينا (Anabaena) وأفانيزومينون (Aphanizomenon) جميعاً أن تفرز سمومها فى الماء ، وقد وجد أن نصف ملليجرام من سم طحلب ميكروسستس تكفى لقتل فأر فى خلال ساعة واحدة .

وهناك طحالب خضراء مزرقة أخرى يمكن أن توجد فى الطبقات السطحية من التربة ، وعلى الشواطئ الصخرية فى المدى الذى يصل إليه رذاذ البحر فيما يلى الحد الأعلى للمد مباشرة ، كما توجد تلك الطحالب أيضاً فى الارتفاعات الشاهقة ، وفى الأراضى الغدقة الحامضية ، وفى الينابيع الساخنة القلوية عند درجات حرارة قد تصل إلى ٧٥° م وحول تلك الينابيع .

وهناك أنواع منها تعيش متكافلة فى أنسجة الأشن والنباتات الكبدية (Liverworts) والسيكادات والسراخس ، وكذلك فى خلايا بعض الحيوانات الأولية (Protozoa) .

وتوجد الطحالب الخضر المزرقة فى البيئات الرطبة — على سطح الأرض أو — تحت السطح مباشرة فى جميع أنحاء العالم ، وتكون أغزر قرب السطح منها على أعماق تتجاوز البضع أقدام. والبيئات المشمسة التى يغطيها غشاء رقيق من الماء لفترات طويلة تستقر بها عادة طحالب خضر مزرقة تصبح سائدة خلال فترات الجفاف . والبرك المؤقتة أكثر تعرضاً لنمو طحالب خضر مزرقة بها من أية بيئة أخرى .

(شكل ١٥٨)



Anabaena

(الطحالب الخضر المزرقة أنابينا)

وكثير من الطحالب الخضر المزرقة تعيش مرافقة لكائنات أخرى ، إما مرافقة تكافل (Symbiosis) أو تطفل (Parasitism) أو تعلق (Epiphytism) أو معايشة (أى مؤاكلة) (Commensalism) . وهناك أيضاً من هذه الطحالب ما تعيش داخل خلايا كائنات أخرى كمختلف أنواع الفطريات والحيوانات الأولية والطحالب الأخرى ، حيث تمدها بالغذاء دون أن تستمد منها فى المقابل شيئاً يذكر أو تستفيد من علاقتها بها ، ويطلق على تلك العلاقة اسم « الاسترقاق » (Helotism) .

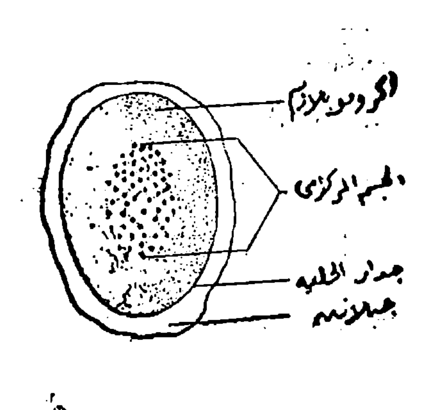
تركيب الخلية ووظائفها :

تتركب كل خلية من خلايا الطحالب الخضر المزرقة من كتلة حية

(بروتوبلاست) يحيط بها جدار مغلف من الخارج بغمد جيلاتيني ، والمكون الرئيسي للجدار عبارة عن واحد أو أكثر من مجموعة من الميوكوبوليمرات (Mucopolymers) تتركب من جلوكوز أميني (Glucosamine) وأحماض أمينية (Amino acids) وحمض الموراميك (Mauramic Acid) ، بالإضافة إلى بعض الجلوكوبيرانوز (Glucopyranose) والجالاكتوز (Galactose) والبنتوزات . ومعظم هذه المواد تتبع المجموعة العامة المعروفة باسم أنصاف السليلوزات (Hemicelluloses) ، وكما فى حالة البكتيريا يمكن اعتبار أن هذه المواد مجتمعة تكون ما يسمى ببتيدوجليكان (Peptidoglycan) — المكون الأساسي للجدر الخلوية البكتيرية . ويحتوى الجدار الخلوى فى معظم الطحالب الخضر المزرقة أيضاً على سليلوز ، وعلى حسب جنس الطحلب قد يتشكل هذا السليلوز الموجود فى الجدار (أو لا يتشكل) إلى اللييفات التى تشاهد عادة فى جدر حقيقيات النواة ، والغمد الجيلاتيني الذى يغلف الخلية يتكون عادة من مواد بكتينية .

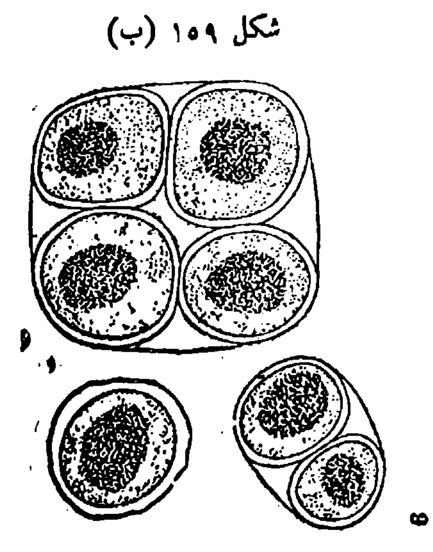
وتتكون البروتوبلاست من جسمين بروتينيين شديدى التحدد والوضوح : جسم مركزى (Central body) عديم اللون وجسم خارجى مصطبغ يسمى

شكل ١٥٩ (أ)



تركيب الخلية فى الطحالب الخضراء المزرقة

شكل ١٥٩ (ب)



« جليوكابسا » (Gleocapsa) — خلية مفردة ومستعمرات منها

كروموبلازم (Chromoplasm)، ويحتوى الجسم المركزى على الجانب الأكبر من مادة « د ن أ » (DNA) ، فهو لذلك ذو طبيعة نووية ، ولكنه غير محاط بغشاء نووى ولا توجد به نوية (Nucleolus) . ولم تدرس بعد مادة « د ن أ » الخاصة بالطحالب الخضر المزرقة بنفس التعمق الذى درست به فى البكتريا . ويبدو أن هناك عدة أشرطة من هذه المادة فى الجسم المركزى ، وأن هذه الأشرطة تشبه صبغيات البكتريا فى أشكالها الدائرية وفى عدم وجود بروتينات ملتصقة بها . والريبوسومات مبعثرة داخل البروتوبلاست ، ولكنها أكثر غزارة فى الجسم المركزى . ولا توجد بالخلية فجوة مركزية .

ويوجد اليخضور والأصباغ شبه الكاروتينية والفيكوبيلينية معاً فى حالة الطحالب الخضر المزرقة فى وحدات متعضية ذوات أحجام وأشكال مختلفة ، موزعة داخل الكروموبلازم ، وهى التى تكسب النبات لونه الذى يتميز به . وفى بعض الأجناس تتخذ تلك الوحدات التمثيلية شكل حبيبات دقيقة تتراوح أقطارها بين ٠,٣ ، ٠,٥ ميكرون ، وفى أجناس أخرى تتخذ تلك الوحدات شكل أكياس أو أقراص مفلطحة « ثيلاكويدات » (Thylakoids) ، وقد تكون تلك الثيلاكويدات ناشئة من التحام حبيبات أصغر . وفى حالة اتخاذ الوحدات التمثيلية شكل أقراص تكون تلك الأقراص متفرقة ومتباعدة وغير متجمعة فى حزم محددة كما فى حالة الكثير من الطحالب حقيقية النواة .

ويكون الانقسام الخلوى عادة لافتيلى (Amitotic) (شكل ١٦٠) فى الطحالب الخضر المزرقة ، وفيه يبدو الجسم المركزى وقد تخصر منقسماً إلى قسمين متساويين . ويتم انقسام الخلية بنمو غشاء وسطى مستعرض من محيط الخلية تجاه مركزها ، ويصحب ذلك أحيانا بانقباض فى وسط البروتوبلاست و ظهور تجويف فى سطحه الخارجى .

ومن العضيات الخاصة بالنباتات حقيقية النواة وغير الموجودة اطلاقاً فى الطحالب الخضر المزرقة : الميتوكوندريات ، والبلاستيدات الخضر النموذجية ،

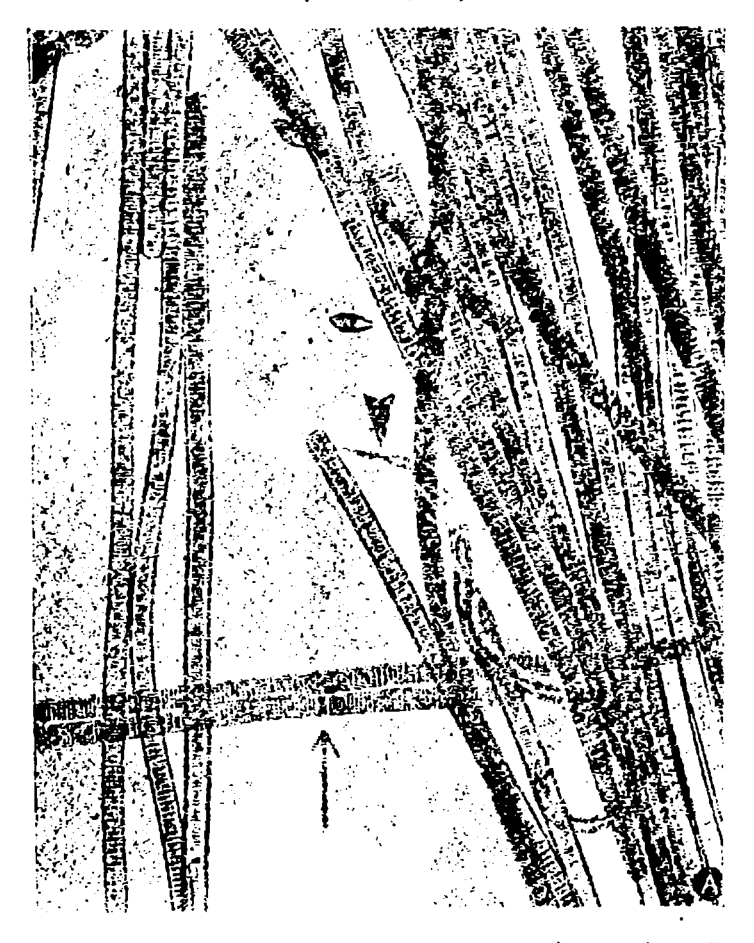
والشبكة الإندوبلازمية وأجسام جولجى (Golgi Bodies) ، والأغشية المزدوجة بوجه عام ، وذلك لأن الطحالب الخضر المزرقة من بدائيات الأنوية . ولذلك فحتّى شكل وتركيب الجدار الخلوى فيها أقرب شبها إلى البكتريا منه إلى حقيقيات النواة .

وتختزن الطحالب الخضر المزرقة الغذاء فى صورة حبيبات دقيقة من الكربوهيدراتات متحدة كيميائياً مع بعض البروتينات ، ويسمى الشق الكربوهيدراتى فى تلك الحبيبات باسم نشا الطحالب الخضر المزرقة (Cyanophycean Starch) . وفى الطحالب الخضر المزرقة – كما فى كل الكائنات الحية التى تقوم بوظيفة البناء الضوئى – توجد أصباغ الكلوروفيل والأصباغ الكاروتينية فى أغشية ، وتتخذ تلك الأغشية فى كثير من الطحالب الخضر المزرقة شكل أكياس مفلطحة يطلق عليها اسم « ثيلاكويدات » شبيهة بتلك الموجود فى البلاستيدات الخضر بالخلايا حقيقية النواة ، ومع ذلك فهناك اختلاف أساسى ، وهو أن ثيلاكويدات الطحالب الخضر المزرقة توجد فرادى ولا تتجمع فى حزم تقابل الجرانات (Grana) الموجودة فى بلاستيدات الخلايا حقيقية النواة ، كما أنها – أى الثيلاكويدات – غير مغلفة بأية أغلفة ، فيما عدا غشاء الخلية البلازمى . وعادة تكون هذه الثيلاكويدات مرتبة حول محيط الخلية فى ترتيب سوارى أو متموج

(شكل ١٦٠)

صورة بالمجهر الإلكترونى لخلية مغايرة (Heterocyst) من خلايا **Anabaena cylindrica** بقوة تكبير ٢٢,٠٠٠ مرة ويظهر فيها الاختناق عند كلا الطرفين وثلاث طبقات خارج جدار الخلية وثيلاكويدات ملتوية داخل السيتوبلازم .

(شكل ١٦١ أ)



خيوط أحد أنواع «أوسيلاتوريا» تتركب من خلايا طولها أقل من عرضها على عكس الخلايا المستطيلة فى البكتريا العصوية الحقيقية . (أ) يشير السهم إلى موضع تجزؤ فى الخيط بعده تستطيع الشدفه الواقعة إلى يمين موضع التجزؤ أن تتباعد ثم تنقسم لتكون خيطاً جديداً فى بقعة أخرى . وتشير قمة رأس السهم إلى إحدى الديدان الخيطية الموجودة فى التربة والتى يتطفل بعضها على النباتات والبعض الآخر على حيوانات . (ب) صورة بالمجهر الإلكترونى لقطاع طولى فى أحد الخيوط يوضح إحدى الخلايا وهى فى حالة انقسام بالانشطار الثنائى ، وتشاهد الأغشية الثيلاكويدية مرتبة حول محيط الخلية من الداخل ، كما تشاهد حبيبات مختزنة وكذلك منطقة النوية .

وتكون متصلة بجدار الخلية الخارجى فى مواضع معينة .

وتحتوى البكتريا الخضر المزرقة - من بين جميع الطرز الكيميائية المختلفة للكلوروفيل - على طراز كلوروفيل - «أ» وحده ، وتفتقر إلى وجود أى من الكلوروفيل البكتيرى أو كلوروفيل «ب» الموجود فى بقية

(شكل ١٦١ ب)



الطحالب وفى النباتات الراقية الخضراء - ومجموعة الأصباغ المميزة لهذا القسم من الطحالب ، وهى التى تتصيد الضوء ، هى مجموعة بروتينات الفيكوبيلين (Phycobiliproteins) ، وعلى الأخص منها مجموعة الاصباغ الزرقاء المعروفة باسم « فيكوسيانينات » والتى تضفى - مع صبغ الكلوروفيل - اللون الأخضر المزرق على هذه الطحالب .

وتوجد البروتينات الفيكوبيلينية فى حبيبات دقيقة ملتصقة بالسطح الخارجى لأغشية الثيلاكويدات فى الطحالب الخضر المزرقة (شكل ١٦١) وهناك ثلاثة أنواع من البروتينات الفيكوبيلينية موجودة فى هذه المجموعة من الطحالب ، وهى الفيكوسيانينات (Phycocyanins) والفيكوإرثرينات (Phycoerythrins) والألوفيكوسيانينات (Allophycocyanins) . وتوجد الفيكوسيانينات والألوفيكوسيانينات فى

(شكل ١٦٢)



البروتينات الفيكوبيلينية فى خلايا الطحالب الخضر المزرقة تظهر على شكل حبيبات على سطح أغشية الثيلاكويدات المرتبة فى دوائر مركزية . الصورة مأخوذة بالمجهر الإلكترونى لطحلب « سينيكوكوكس لفيدس » Synechococcus lividus الذى يعيش فى مياه أحد الينابيع الحارة عند درجة حرارة تتجاوز ٦٠° م .

جميع الطحالب الخضر المزرقة ، وكلتا المجموعتين أصباغ زرقاء ، ولكنهما تختلفان بعض الشيء فى أطيافهما الامتصاصية ، وإذا وجدت بالطحالب مقادير كبيرة من الأصباغ الفيكوإرثرينية – وهى حمراء برتقالية – فإنها تجعل الخلايا تبدو حمراء أو قرمزية أو بنية بدل أن تبدو خضراء مزرقة وتعمل هذه الأصباغ الإضافية على توسيع مدى أطوال الموجات الضوئية المرئية التى تمتصها الخلايا بقوة فى عملية البناء الضوئى بأطوال الموجات التى يمتصها بقوة صبغ كلوروفيل «أ» .

وتختلف بعض الطحالب الخضر المزرقة فى بنائها الضوئى عن النباتات الهوائية من حيث مقدرتها على تكييف عملية البناء الضوئى عندها للظروف اللاهوائية عندما تضطر للتحول إلى نمط من أنماط البناء الضوئى لا يتضمن انطلاق أكسجين ، وذلك باستعمالها غاز كبريتيد لإيدروجين (يدم كب)

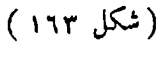
كمصدر إيدروجيني لاختزال ثاني أكسيد الكربون ، على نحو ما يحدث في حالتي البكتريا الخضراء والقرمزية ضوئية التغذية الذاتية ، وقدرة هذه الطحالب الخضر المزرقة على تحوير بنائها الضوئي إلى النمط اللا هوائي تمكنها من مواصلة نموها عندما تصبح محصورة في القاع الطيني عديم التهوية بالبركة التي تعيش فيها ، نتيجة للجفاف الذي تتعرض له بعض البرك موسمياً .

وهناك أيضاً من التراكيب الداخلية بالخلايا ما يعرف باسم « حبيبات الاختزان » (Storage granules) يمكن أن تتكون داخل الخلايا الخضرية للطحالب الخضر المزرقة ، وتشمل مواد الجليكوجين الذي ينتج عن فائض البناء الضوئي والبوليفوسفات (Polypho-sphates) التي توجد أيضاً في البكتريا الحقيقية. وفي الأوساط الغنية بالمواد النتروجينية يمكن أن تنتج الطحالب الخضر المزرقة حبيبات من عديدببتيد اختزالي فريد في نوعه اسمه سيانوفيسين (Cyanophycin) ؛ يتركب من حامضين أمينين : أرجنين (Arginine) وحامض أسبرتيك (Aspartic Acid) بمقادير متساوية ، ويختلف السيانوفيسين عن عديدات الببتيد العادية ليس فقط في تركيبها البسيط من الأحماض الأمينية ولكن أيضاً في كون الريبوسومات لا تتمثلها .

وبداخل الخلايا أيضاً توجد حويصلات غازية (Gas vesicles) ، (شكل ١٦٣) وهي أسطوانات جوفاء مليئة بالهواء ذوات أطراف مخروطية ، وهي موجودة بالخلايا الخضرية لبعض الطحالب الخضر المزرقة المائية وقليل غيرها من بدائيات النواة ، ويتميز الغشاء الخارجي لهذه الحويصلات بوضوح عن الأغشية البيولوجية المثالية بكون بروتيناتها لا توجد بها ليبيدات . وتحتوي أسطوانات الغازات على جميع أنواع الغازات الذائبة في سيتوبلازم الخلية أكثر مما تحتوي على غازات خاصة بها . ويعتبر التعوم (Floating) — أي تعوم جسم النبات — الوظيفة الأساسية التي تؤديها أسطوانات الغازات ، حيث أنها تعمل على

بقاء الخلايا قريبة من سطح الماء باستمرار وبذلك يتحقق لها أفضل الأوضاع لعملية البناء الضوئى ويتوفر لها الحد الأقصى للإضاءة . ويؤثر الطفو أحياناً على تجمع أعداد كبيرة من خلايا الطحالب الخضر المزرقة عند سطح الماء فى البرك والبحيرات مكونة (ريماً) رائحته فى الغالب كريهة .





(شكل ١٦٣)

صورة بالمجهر الإلكترونى لجزء من إحدى خلايا طحلب « أنابينا فلوساكوى » الأخضر المزرق (٧٣,٥٠٠) توضح التركيب الدقيق للغمد الجيلاتينى والجدار الخلوى المكون من أربع طبقات والفقاعات الغازية التى تبدو فى قطاعها الطولى عصوية الشكل وفى القطاع العرضى كروية ؛ كما ترى أيضاً الأغشية التمثيلية « الثيلاكويدات » والأجسام الليبيدية مصطبغة بلون داكن وكثير من الريبوسومات الحبيبية) .

والجدار الخلوى متعدد الطبقات (شكل ١٦٣) ولا يمكن تمييزه من جدر الخلايا البكتيرية ، والمكون الرئيسى للجدار هو الببتيدوجليكان ، وثخانته ٢٨ ملليميكرون ، ويغلفه غمد مساوله فى الثخانة يحتوى ليفات منغمسة بتفكك فى وسط عديم الشكل ملون باللون الأصفر أو البنى أو غير ذلك .

ترسيب الكربونات :

هناك توازن كيميائى معقد بين ثانى أكسيد الكربون الذائب فى المياه الطبيعية وبين حامض الكربونيك (يد$_{2}$ ك أ$_{3}$) والبيكربونات الذائبة . ويؤدى استنزاف ثانى أكسيد الكربون الذائب إلى تكوين كربونات غير قابلة للذوبان من البيكربونات الذائبة وفقاً للمعادلة :

كا (يدك أ$_{3}$)$_{2}$ $\longrightarrow$ كا كأ$_{3}$ + يد$_{2}$ أ + كأ$_{2}$

وعلى هذا الأساس يؤدى استنزاف ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى بواسطة الطحالب وغيرها من النباتات المائية إلى ترسيب الكربونات وكون بعض الطحالب الكلسية أكثر نزوعاً فى كثير من غيرها من الكائنات الحية التى تعيش معها فى نفس بيئتها لترسيب الجير فوق أجسامها أو بداخلها يعتبر دليلا على أن تلك الطحالب الكلسية تلعب دوراً مباشراً فى هذه العملية – عملية ترسيب الكربونات . وهناك الكثير من هذه الطحالب – وبخاصة بعض الطحالب الخضر المزرقة والخضر والحمر – يحتمل أن تكون لها القدرة على استخلاص ثانى أكسيد الكربون مباشرة من البيكربونات الذائبة وترسيب كربونات غير قابلة للذوبان فى صورة كربونات كالسيوم أو كربونات ماغنسيوم . وما الطين الغنى بكربونات الـكالسيوم (Marl) المتجمع بوفرة فى قاع بعض البحيرات والمواضع الغدقة (Bogs) إلا نتاج أنشطة بعض الطحالب الخضر والخضر المزرقة . والمعتقد أن الأنشطة الكيميائية للطحالب من بين العوامل الهامة التى أدت إلى تكوين الكثير من الرواسب الجيرية – وربما معظمها – فى القشرة الأرضية على امتداد العصور الجيولوجية المتعاقبة .

تثبيت النتروجين :

من المعتقد أن حوالى ثلث العدد الكلى لأنواع الطحالب الخضر المزرقة لها القدرة على تثبيت النتروجين . وفى معظم الأنواع المثبتة للنيتروجين يتم التثبيت داخل خلايا خاصة يطلق عليها اسم « الحويصلات المغايرة » (Heterocysts) (شكل ١٥٧) . وهى خـلايا أكبر حجماً من الخـلايا المجاورة لها فى الطرز الخيطية ، غليظة الجدر ، كثيفة السيتوبلازم ، أغشيتها الداخلية غير مرتبة فى صفوف متوازية . ولا توجد بها أصباغ فيكوبيلينية ، ولذلك تبدو رائقة صافية تحت المجهر الضوئى ، ومن المحتمل أن تكون تلك الحويصلات قد فقدت جهازها التمثيلى الضوئى ولم يعد ينطلق منها الأكسجين وتتصل الحويصلات المغايرة بالخلايا المجاورة لها فى نفس الخيط روابط

بلازمية (Plasmodesmata) وربما كانت وظيفة الجدار الغليظ هى المعاونة على توفير الحالة اللا هوائية للسيتوبلازم ، وهى حالة ضرورية لنشاط إنزيم النيـتروجينيز (Nitrogenase) . وتشبه الطـريقة الأيضية لتثبيت النتروجين هنا طريقة تثبيته فى البكتريا .

وفى الأقاليم المدارية (Tropics) تـزرع الطحالب الخضر المزرقة مثل النوستوك (Nostoc) والأنابينا (Anabaena) قصـداً فى حقول الأرز لزيادة خصوبة التربة . وفى بعض التجارب ثبت أن طحلب أنابينا سلندريكا (Anabaena cylindrica) يمكن أن يثبت ما بين ٣ — ٤٠٠ كيلوجرام نيتروجين لكل هكتار فى السنة . وهذا النتروجين العضوى ينطلق ليستفيد منه نبات الأرز عندما تختلط الطحالب بالتربة وتتحلل . وقد وجد أن محصول الأرز يزداد زيادة كبيرة عندما تزرع الطحالب الخضر المزرقة فى حقوله كصورة من صور المخصبات .

وهناك بعض الطرز الخيطية ووحيدة الخلية من الطحالب الخضر المزرقة مثل طلحب جليوكابسا (Gleocapsa) تستطيع تثبيت النتروجين حتى ولو لم تكن لها حويصلات مغايرة ، وتقتصر القدرة على تثبيت النتروجين الحر على بدائيات النواة من البكتريا والطحالب الخضر المزرقة .

التكاثر :

التكاثر الجنسى لا يحدث فى الطحالب الخضر المزرقة . وتشمل طرق التكاثر فى هذا القسم من النباتات عملية الانقسام الخلوى التى تتم بنفس الطريقة التى تحدث بها فى البكتريا ، حيث يزدوج شريط « د ن أ » الطويل الدائرى وينفصل إلى شريطين دائريين متساويين ، ثم ينقسم البلازم النووى (Nucleoplasm) والسيتو بلازم إلى قسمين دون أن تتكون كروموسومات أو جهاز مغزلى أو صفيحة خلوية (Cell plate) ، وتكبر المستعمرات عن طريق الانقسام الخلوى ، كما تستطيل الخيوط بالانقسام الخلوى أيضاً .

ومن الممكن أن تتكاثر الطرز الخيطية بالتجزؤ (Fragmentation) غالباً عنـــد المواضع الضعيفة ، حيث تكون إحدى الخلايا قد هلكت وذوت أو أحياناً بجوار الحويصلات المغايرة ، وتسمى أجزاء الخيط التى تنفصل ، والتى يقع كل منها بين حويصلتين مغايرتين متتاليتين ، باسم هورموجونات (Hormogonia) والواحدة هورموجونة (Hormogonium) وتستطيع كل هورموجونة إنتاج خيط جديد بالانقسام الخلوى المتتالى عند قمتها .

وتستطيع بعض الأنواع الخيطية تكوين طراز من الجراثيم تعرف بالجراثيم غير المتحركة (Akinetes) ، وهى خلايا خضرية متضخمة غليظة الجـــدر تختزن بداخلها قدراً وفيراً من الغذاء المدخر ومن الحامض النووى « د ن أ ». هذه الجراثيم تستطيع الإنبات داخل جدارها الغليظ بعد فترة سكون ثم يتحطم الجدار ويتحرر من داخله خيط قصير من الخلايا . وتستطيع الحويصلات المغايرة أحياناً أن تؤدى نفس الوظيفة ولكن وظيفتها الأهم هى تثبيت النتروجين ، والجراثيم غير المتحركة تمثل معبراً يعبر عليه الكائن الحى فترات العوامل غير الملائمة حتى إذا ما تحسنت الظروف نبتت الجراثيم واستأنف الطحلب نموه النشط من جديد . وهناك نوع آخر من الجراثيم هو الجراثيم الداخلية (Endospores) ، وهى تتكون نتيجة تكرار انقسام البروتوبلاست داخل جدار الخلية التى تتكون فيها . وهذا النوع من الجراثيم هو أيضاً عديم الحركة . وبوجه عام لا توجد أية تراكيب تكاثرية متحركة فى جميع الطحالب الخضر المزرقة .

وفى بعض طرز الطحالب الخضر المزرقة يحدث انفصال أجزاء الخيط فى نقاط معينة تتجاور فيها خليتان خضريتان ، ويكون الفاصل بينهما قرص مزدوج التقعر من مادة جيلاتينية .

التصنيف والأجناس المميزة :

تندرج الطحالب الخضر المزرقة تحت عدد محدود من الرتب (Orders) ويقوم التصنيف على أساس الشكل والتركيب وطرق التكاثر . وقد ورد

ذكر أكثر من ١٥٠٠ نوع من هذه الطحالب أثبتت الدراسات المتأنية المستفيضة التي أجراها أخصائي الطحالب الأمريكي فرانسس درويت (Francis Drouet) أن الكثير منها إنما هي طرز بيئية لأنواع أخرى تشكلت استجابة لظروف خارجية مختلفة . ولذلك فالمعتقد أن العدد الفعلي لأنواع هذه الطحلب أقل بكثير من الرقم السابق ، وربما كان أقل من مائة نوع .

وأهم الأنواع انتشاراً هي الآتية :

١ – جليوكابسا (Gleocapsa)

هذا النوع (شكل ١٥٩) ينمو عادة فوق الصخور الرطبة ، وخلاياه كروية أو عدسية الشكل ، وتتجمع في مستعمرات عديمة الشكل بكل مستعمرة منها أقل من ٥٠ خلية . ويتلون الغمد المغلف للمستعمرة باللون الأحمر أو الأزرق أو البنفسجي أو الأصفر أو البني وذلك بواسطة أصباغ يطلق عليها اسم جليوكابسين (Gleocapsin) . وبالإضافة إلى الغمد العام المغلف للمستعمرة كلها تحتفظ كل خلية بغمدها الخاص حولها . ويحدث التكاثر بالانقسام الخلوي وتجزؤ المستعمرة .

٢ – أوسيلاتوريا (Oscillatoria)

هذا الطحلب (شكل ١٦٤) من أوسع الطحالب الخضر المزرقة انتشاراً ، حيث يوجد في عدد كبير من بيئات المياه العذبة والبيئات الأرضية كما يوجد أيضاً في الينابيع الحارة . وهو يكون خيوطاً محددة بوضوح ، غير متفرعة ، أسطوانية ، كل خيط منها يمثل صفاً واحداً من الخلايا ،

(شكل ١٦٤)



خيوط أوسيلاتوريا (Oscillatoria)

والخيوط إما أن توجد منفردة أو تتشابك دون انتظام فى طبقات بغير حدود والغمد الجيلاتينى — إن وجد — يكون رقيقاً إلى أبعد حد . ويحدث التكاثر بالتجزؤ فى مواضع أقراص الانفصال المقعرة . وتمايل خيوط أو سيلاتوريا وغيرها من الطحالب الخضر المزرقة التى تربطها بها أواصر القربى من ناحية إلى أخرى ببطء شديد ، وأحياناً تتحرك أيضاً من مكان إلى مكان ولكن ببطء أشد .

٣ — نوستوك (Nostoc)

يوجد هذا الطحلب (شكل ١٥٧) على سطح التربة العارية وفى المياه العذبة ، إما طافية على السطح أو ملتصقة بنباتات مغمورة ، وتتجمع خلايا النوستوك فى خيوط (تريكومات) شبيهة بخيوط سائر الطرز الخيطية من الطحالب الخضر المزرقة فيما عدا كونها أكثر منها التواء والتفافاً . ولكل خيط من الخيوط غلافة المستقل الخاص به ، وتتجمع خيوط كثيرة معاً لتكون مستعمرة لها غلاف عام . والمستعمرات الناضجة تامة التكوين يمكن رؤيتها بالعين المجردة بسهولة ، وتكون عادة عدة سنتيمترات فى سمكها . وتتناثر فى الخيوط الحويصلات المغايرة (Heterocysts) . وعندما تنضج المستعمرة تتحول فيها خلايا كثيرة إلى جراثيم غير متحركة (Akinetes) .

الأهمية الاقتصادية :

من المعلوم أن السلسلة الغذائية تبدأ من النباتات . وجميع طوائف الطحالب تمثل مصادر غذاء للأسماك ، بيد أن طائفة الطحالب الخضر المزرقة بالذات أقل أهمية فى هذه الناحية من بقية الطحالب ، وعلى الأخص الدياتومات والطحالب الخضر . وقد شرحنا من قبل أهمية الطحالب الخضر المزرقة فى عمليتى تثبيت النتروجين وترسيب الكربونات .

ولو تركت الطحالب لتنمو نمواً طبيعياً دون عائق فى خزانات المياه ، العذبة فإنها تتكاثر إلى الحد الذى تفسد فيه مذاق الماء ، وثمة أنواع من

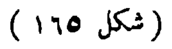
الطحالب الخضر المزرقة تقوم بدور متميز فى إفساد طعم الماء . ولما كانت غالبية الطحالب أكثر قابلية للتسمم بأملاح النحاس من الإنسان ومن معظم الكائنات الأخرى فإن كميات ضئيلة من كبريتات النحاس تعالج بها مصادر المياه غالباً من أجل تنقيتها .

ثانياً : الفيروسات
VIRUSES

مقـــدمة :

قبل استكشاف البكتريا بوقت طويل كان اللفظ اللاتينى « فيروس » – ومعناه « سم » – يستعمل للدلالة على سموم الأمراض المعدية ، وبعد إماطة اللثام عن البكتريا المسببة للأمراض استعملت كلمة « فيروسات » للدلالة على السموم الناتجة من تلك الأمراض ، حتى إذا ما تقدم علم البكتريا وتوطدت أركانه وجد أن هناك بعض أنواع من المرشحات تصل مسامها إلى درجة من الصغر بحيث تحول دون نفاذ ، البكتريا منها ، بمعنى أن الراشح الناتج يكون خالياً من أية بكتيرة وليس لديه القدرة على إحداث المرض ، وإذا أحدث المرض كان ذلك دليلا على عدم اكتمال الترشيح وفعاليته .

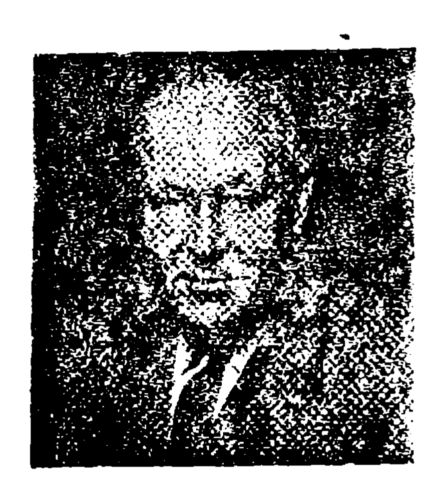
وقرب نهاية القرن التاسع عشر قام العالم الروسى إيفانوفسكى بإعتصار نبات تبغ مريض متقزم ، واختبر قدرة المحلول المعتصر بعد ترشيحة على احداث المرض فى نبات تبغ سليم ، وكان المرض هو المعروف باسم تبرقش الدخان (Tobacco mosaic) ، (شكل ١٦٥) وقد حقن إيفانوفسكى النبات السليم والخالى تماماً من الأمراض البكتيرية بكمية ضئيلة من عصير النبات المريض فلاحظ أن النبات المحقون سرعان ماظهرت عليه أعراض مرضية مماثلة لتلك الموجودة فى النبات الذى أخذ منه العصير ، وكانت هذه النتيجة كشفاً بيولوجياً بالغ الأهمية ، مضمونه إمكان انتقال مرض من نبات إلى آخر عن طريق عصير مرشح خال تماماً من أية أجسام حية يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئى ، ومعنى ذلك أن العصير لابد أن كان محتوياً على شئ ماهو





ورقة منفردة من أوراق التبغ
المصابة بمرض التبرقش الفيروسى

(شكل ١٦٦)



و . م . ستانلى (W.M Stanley)
١٩٠٤ — ١٩٧١ عالم الفيروسات
الأمريكى الذى كان أول من حصل
على بلورات من فيروس تبرقش
الدخان .

الذى أحدث المرض فى النبات السليم ، هذا الشئ هو الذى أطلق عليه اسم « فيروس » (Virus) .

وبعد ست سنوات من توصل إيفانوفسكى إلى اكتشافه المثير لمرض تبرقش الدخان أى فى عام ١٨٩٨ توصل باحثان آخران ألمانيان ، هما لوفلر (Loefler) وفروش (Frosch) إلى إثبات أن مرض الحافر والفم (Hoof-and-mouth disease) الذى يصيب الماشية سببه هو الآخر عامل مشابه لعامل تبرقش الدخان ينفذ من خلال المرشحات البكتيرية . وتوالت منذ ذلك الحين الاستكشافات التى أزاحت الستار عن كثير من الأمراض الفيروسية التى تصيب الإنسان والحيوان والنبات .

وفى بداية استكشاف الفيروسات كان يطلق عليها اسم « الفيروسات القابلة للترشيح » (Filtrable Viruses) ، ثم استغنى تدريجياً عن عبارة

« القابلة للترشيح » وأصبحت تسمى « الفيروسات » . وتبين أن بعضها يمكن أن توجد فى العائل دون أن تسبب له مرضاً .

ويصنف البعض الفيروسات على اعتبارها طرازاً ثالثاً من طرز الحياة قائماً بذاته مستقلا عن بدائيات النواة وحقيقيات النواة ، ومختلفاً عن كلا القسمين فى كونه عديم الخلايا . وللفيروس طوران فى دورة الحياة ليست وحدة الحياة فى أى منهما هى الخلية . وإنما الفيروسات هى حبيبات أو أجسام دقيقة تقل أطوالها عن ٠,٢ ملليميكرون ، ولذلك لا ترى بالمجهر الضوئى ، وجميعها — حسب المعلومات المتوفرة حتى الآن — لا تستطيع التكاثر خارج عائلها .

وفى عام ١٩٣٥ نشر الباحث الأمريكى ستانلى (Stanley) (شكل ١٦٦) بحثاً بعنوان « تحضير بروتين متبلور يشبه فى خصائصه فيروس تبرقش الدخان » . وبعد التحسينات الكثيرة التى أدخلت على المجهر الإلكترونى فى الأربعينات من هذا القرن أوضحت الدراسة المجهرية أن بلورات الفيروسات يتكون كل منها فى الواقع من وحدات كثيرة جزئية معقدة يطلق عليها اسم « فيريونات » (Virions) . وقد أصبح معلوماً الآن أن الفيريون هو وحدة التركيب الأساسية لأى فيروس ، وأنه هو الصورة التى ينتقل عليها الفيروس من عائل إلى آخر أو من خلية إلى أخرى . وخارج العائل يكون الفيريون خاملا (Inert) أى غير نشيط . ويتكون الفيريون من أحد الحامضين النوويين (د ن أ) أو (ر ن أ) ، يحيط به غلاف من البروتين . ويوجد بكل فيريون من المادة الوراثية ما يغذى ما بين عشرة وعدة مئات من الجينات . وقد يكون حامض ال « د ن أ » خيطاً مفرداً أو مزدوجاً ، دائرياً أو طولياً ، كذلك حامض « ر ن أ » قد يكون هو الآخر خيطاً مفرداً أو مزدوجاً . وفى داخل خلية العائل يتكون الفيروس من مجرد خيوط متكررة من أحد الحامضين النوويين « د ن أ » أو « ر ن أ » ولا شيء سواه ، وتوفر خلية العائل كل ما يلزم من مواد أخرى لإنتاج فيريونات مرة أخرى وإكمال الدورة .

ومن الواضح أن الفيروس عند ما يدهم العائل يصبح جزءا من مكونات خلاياه . ذلك أنه لايملك أجهزة لإطلاق الطاقة ولاأجهزة تخليق إنزيمية . وتشبه المواد الداخلة فى تكوين الفيروسات — وعلى الأخص أحماضها النووية — نظائرها فى العائل ، وتستحث خلايا العائل على إنتاج مواد الفيروس أكثر مما تستحثه على إنتاج مواد العائل المصاب . ولهذا السبب لاتستطيع الفيروسات التكاثر خارج الخلايا الحية للعائل . وقد أدى هذا التلازم الوثيق بين الفيروسات والخلايا الحية إلى تعرفنا على الفيروسات عن طريق تأثيراتها المباشرة على الخلايا البكتيرية أو الحيوانية أو النباتية . وفى الواقع قد يكون من الأصوب مقارنة الفيروسات ببعض مكونات الخلايا بدلا من مقارنتها بخلايا كاملة ، فهى على هذا الاعتبار — اعتبار كونها مكونات خلايا وليست خلايا كاملة — يمكن أن تقدم لنا تفسيرا منطقياً لقدرتها على إحداث الأمراض والمكونات المتماثلة فى الفيروس وخلايا العائل هى الأحماض النووية التى تحمل المعلومات الوراثية التى تحدد ما هية الوظائف الخلوية . ولما كانت خلية العائل غير قادرة على تمييز أحماضها النووية من أحماض الفيروس فهى تستغل تلك الرسائل والإشارات الوراثية الجديدة لتخليق مكونات جديدة خاصة بالفيروس من دون العائل ، وتطيع تلك الإشارات لصالح الفيروس طاعة عمياء . وتكون من بين المكونات الفيروسية الجديدة بعض الإنزيمات وهذه تعمل بالتعاون مع إنزيمات العائل على تخليق فيروس جديد ، مستغلة فى ذلك مصادر الطاقة المتاحة لخلايا العائل .

وفى الخمسينات والستينات من هذا القرن نشطت الدراسات التجريبية الحيوية على الفيروسات بقيادة أخصائى الفيروسات الأمريكى سلفادور لوريا . وتمخضت تلك الدراسات عن التحقق من أن الفيروسات تشبه سائر الكائنات الحية فى صفاتها البيوكيميائية الأساسية ، وعلى الأخص فى احتوائها على أحماض نووية تسيطر على تكوين بروتينات معينة . ومن المحق إن الفيروسات قد استعملت ككائنات تجارب رئيسية فى كثير من الدراسات

التى أجريت فى مجال البيولوجيا الجزيئية ، وفضلت على الكائنات الحية الأكثر تعقيدا بسبب عدم تكوينها نواتج ثانوية أو قيامها بتنظيم ذاتى يعقد نتائج التجارب .

وخلاصة القول إن الفيروسات كائنات (أو عوامل) ممرضة دقيقة لاترى غالبيتها إلا بالمجهر الإلكترونى ، تتخذ شكل حبيبات عصوية أو كروية ، أو أشكالا أخرى أكثر تعقيداً ، ولكنها لايمكن تصنيفها على أساس الشكل وحده كما يصنف الكثير من الكائنات الحية . وفى الجدول التالى أمثلة لبعض الفيروسات النباتية وأشكالها وأحجامها والكائنات الناقلة لها .

ماهية الفيروسات :

كان المعتقد قبل البحوث التى أجراها ستانلى على مرض تبرقش الدخان عام ١٩٣٥ أن مسبب ذلك المرض إصابة بكتيرية ، وذلك لشدة مشابهة أعراضه للأعراض المرضية التى يسببها الكثير من أنواع البكتريا المتطفلة ، ولكن بعد أن قام ستانلى بتحضير عينة من نبات الدخان المصاب ، وقام بترشيحها فى مرشحات بكتيرية للتخلص مما عساه يكون موجودا بها من بكتريا ، ثم حقن العصير المرشح فى نبات دخان سليم ، ووجد أن أعراض المرض قد ظهرت على النبات المحقون — عندما توصل إلى تلك النتيجة أيقن أن مسبب المرض شىء أخر غير البكتريا أطلق عليه اسم « فيروس » (Virus) . وقد نجح ستانلى بعد ذلك فى فصل وتنقية بلورات بروتينية من عصير النبات المصاب بالفيروس ، ووجد أن قدرة تلك البلورات على إحداث المرض تفوق مائة مرة قدرة العصير نفسه . واستمر فى إعادة بلورة هذه البلورات البروتينية عدة مرات ، وثبت أن تلك البلورات تحتفظ بعد إعادة بلورتها بكافة خصائصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية ، مما لايدع مجالا للشك فى أن هذه البلورات هى بعينها مسببات الأمراض الفيروسية وقام الأستاد بست (Best) بعد ذلك فى عام ١٩٣٩ بتأييد نتائج ستانلى .

جدول (٤)

بعض الفيروسات النباتية وأشكالها وأحجامها والكائنات الناقلة لها

اسم الفيروس	الحجم (بالملليميكرون)	الناقل
١ — فيروسات كروية :		
نخر الدخان	٢٠	الفطريات
تبرقش الفول	٣٠	المن
تبرقش القرع	٣٠	الخنافس
تقزم البطاطس الأصفر	١١٠	نطاط الأوراق
٢ — فيروسات عصوية قصيرة		
بقعة الأيدرانجيا الحلقية	٤٤ × ١٦	غير معروف
تبرقش أوراق التبغ	٢٨٠ × ١٥	غير معروف
٣ — فيروسات عصوية طويلة		
التبرقش الأصفر فى الفول	١٢ × ٧٥٠	المن
اصفرار البنجر	١٠ × ١٢٥٠	المن

ويعد اكتشاف المسببات الفيروسية كبلورات نيوكليوبروتينية حدثا عظيما فى تاريخ البشرية ، إذ تبين فيما بعد أن مسببات الأمراض الفيروسية التى تصيب الإنسان والحيوان هى أيضاً بلورات نيوكليوبروتينية ودرست آلية المناعة ضد الأمراض الفيروسية الإنسانية والحيوانية ووسائل مقاومتها فى ضوء معرفة هذه المسببات وأمكن بذلك استنباط الوسائل الفعالة للمقاومة والعلاج .

وتختلف الفيروسات عن البكتريا والحيوانات الأولية من حيث دقة أحجامها ، ومن ثم فهى تستطيع النفاذ من خلال المرشحات البكتيرية ، وتختلف أحجامها ما بين ٥ ، ٣٠٠ ملليميكرون (الملليميكرون جزء من ألف من الميكرون أى جزء من مليون من المليمتر) بينما يتراوح حجم البكتريا مابين ٥٠٠ ، ٥٠,٠٠٠ ملليميكرون ، أى أن أكبر الفيروسات حجما لاتكاد

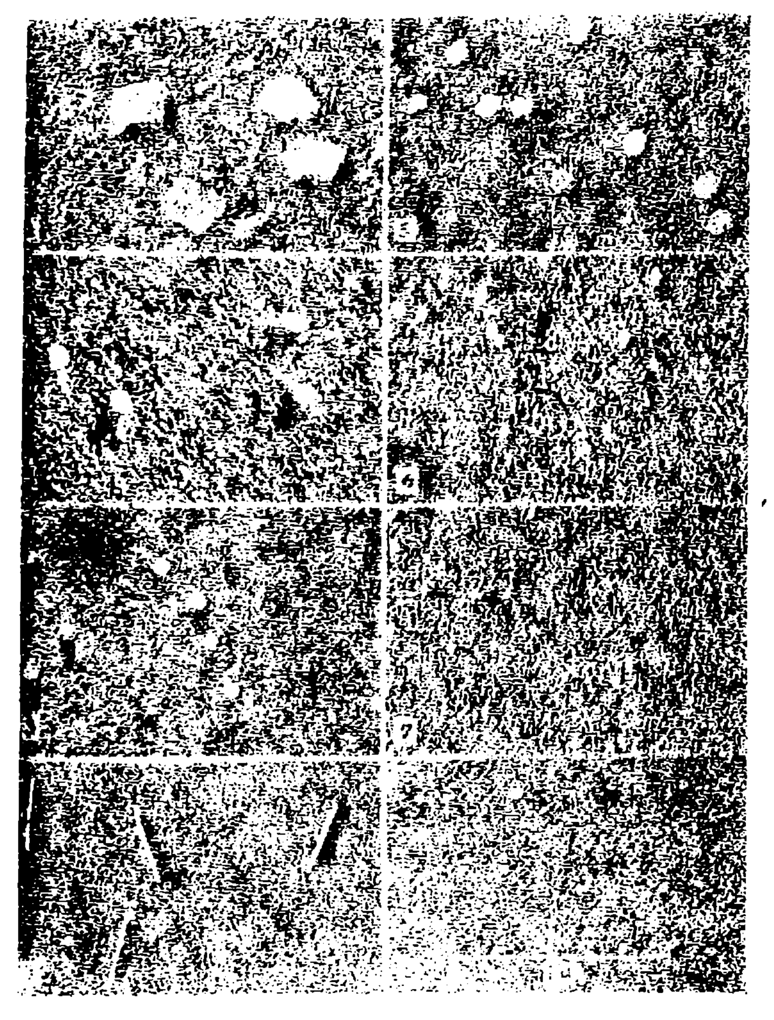
تشغل أكثر من ربع حجم بكتيرة التيفوتيد المعروفة علمياً باسم « باسيلس تيفوزا » (Bacillus typhosa) ، أما أصغرها حجما فقد يتسع لألف منها أو أكثر غلاف فارغ من أغلفة البكيترة الكروية العنقودية ستافيلوكوكس (Staphylococcus) .

التركيب :

يتركب الفيريون (Virion) من لب من حامض نووى (إما « دنا » أو « رنا » ولكن لايجتمع الاثنان معا فى لب واحد) يحيط به غمد (Sheath) بروتينى يسمى كابسيد (Capsid) والأخير بدورة مغلف بغلاف (Envelope) فى بعض الفيروسات . ويوجد الحامض النووى فى اللب إما على شكل خيط منفرد أو مزدوج ، وغالباً ما يكون خيط الـ « دن ا » مزدوجا بينما يكون خيط الـ « رنا » منفردا . والغلاف الخارجى هو هنا غشاء من طبقة واحدة فهو يشبه فى ذلك الغشاء البلازمى فى الخلايا حقيقية النواة . وفى معظم الأحيان يكون هذا الغلاف الخارجى للفيريون جزءا من الغشاء البلازمى لخلية العائل يأخذه معه عند خروجه من الخلية وعلى النقيض من ذلك فى فيروس الجدرى وبعض الفيروسات الأخرى يكون الغلاف الخارجى جزءا أصيلا من الفيريون نفسه لاعلاقة له بالغشاء البلازمى للعائل . ولبعض الفيريونات بروتين واحد إضافى أو أكثر ، أو أحد عديدات الببتيدات أو مواد أخرى ، وتكون جميعها موجودة بداخل الغلاف الخارجى ولكن خارج الكابسيد أو بداخله وليس لأى من هذه المواد من الإنزيمات ما يكفى لإحداث تحول غذائى مستقل ومنفصل عن أيض خلية العائل . أى أن الفريونات لاتعتمد على خلية العائل فى الحصول على مواد غذائها فحسب بل تعتمد عليها أيضاً فى الحصول على الإنزيمات الأساسية ، التنفسية وغيرها .

والفيريونات (شكل ١٦٧) أصغر من البكتريا ، مع قليل من التداخل فى الحجم بين القسمين ، ذلك أن أصغر طرز البكتريا ، وهى الطرز الكروية التابعة للرايكتسيات ، تصل أحجامها إلى ٢٠٠ ملليميكرون ، وهى أدنى

(شكل ١٦٧)



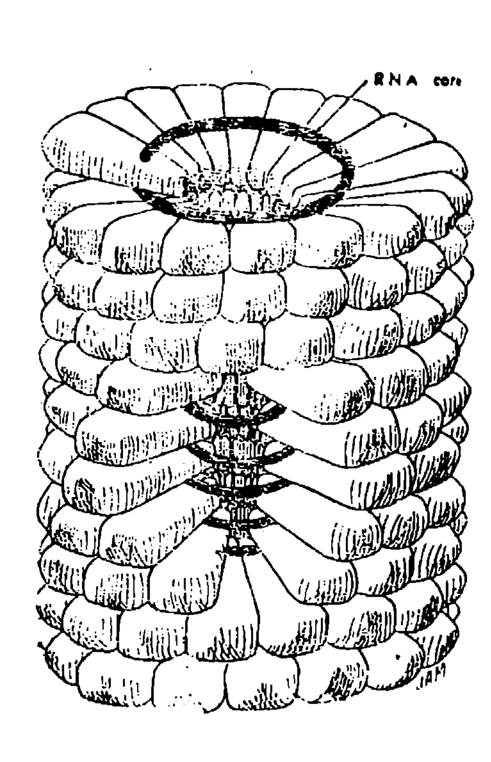
الطرز المختلفة من الفيريونات : (١) الفاكسينيات ، (٢) ت - ٢ بكتريوفاجات مذنبة ، (٣) ت - ٣ بكتريوفاجات ، (٤) فيريون تبرقش الدخان ، (٥) فيريون الأنفلونزا ، (٦) فيريون حلمة الأرنب ، (٧) فيريون تقزم الطماطم ، (٨) فيريون البوليو (مكبرة بالمجهر الإلكترونى) .

حدود الرؤية باستعمال المجاهر الضوئية التقليدية . بينما يصل حجم أكبر أنواع الفيروسات - مثل فيروس الجدرى - إلى حوالى ٣٠٠ ملليميكرون ويمكن أن يقال إن فيروسات الجدرى هى أكثر الفيروسات تعقيدا من حيث التركيب والجهاز الإنزيمى ، ولكنها فيروسات على أية حال وليست بكتريا . أما فيروس تبرقش الدخان فيصل طوله إلى ٣٠٠ ملليميكرون بينما لايتجاوز عرضه ١٥ ملليميكرون ، أى أن طوله - دون عرضه - يقع

فى حدود إمكانية الرؤية بالمجاهر الضوئية . وهناك بعض الفيريونات الصغيرة - مثل فيريون مرض الحافر والفم - لايتجاوز طولها ولاعرضها العشرة ملليميكرونات .

ويحتوى الغمد البروتينى المعروف باسم « كابسيد » على نوع واحد أو أكثر من أنواع البروتينات - على حسب نوع الفيريون - مرتبة فى طبقة واحدة أو فى عدة طبقات متعاقبة . وهناك طرازان عامان من الكابسيدات : طراز طويل يترتب فيه الجزئ البروتينى إما عقربياً (Helicoid) وإما أيسومتريا (Isometric) تقريباً . والكابسيدات العقربية - ومن أمثلتها كابسيدات فيروس تبرقش الدخان - تكون عادة مفتحة الأطراف جوفاء (شكل ١٦٨) ويلتف فيها لولب الحامض النووى المتضاغط حول المحيط الداخلى للكابسيدة وقد دلت البحوث التى أجراها كونرات ووليامز عام ١٩٥٥ على أن البروتين وحامض الريبونيوكلييك يوجدان معاً فى فيروس تبرقش الدخان دون اتحاد كيميائى بينهما ، إذ استطاع الباحثان فصلهما عن بعضهما البعض ثم إعادتهما دون أن ينتج عن ذلك فقدان الفيروس لقدرته التطفلية . أما طراز الكابسيدات الأيسومترية ففيها تغلف الكابسيدة اللب المكون من الحامض النووى تغليفاً تاماً ، دون أن تكون مفتحة الأطراف ، وغالباً ما تكون متعددة الأضلاع ، وجميع أوجهها مثلثات متساوية الأضلاع

(شكل ١٦٨)



تمثيل تخطيطى للتركيب الفراغى لفيروس تبرقش الدخان مبيناً حزمة وسطية من حمض الريبونيوكلييك يحيط بها البروتين .

وهناك فيريونات – مثل فيريون الجدرى – تتخذ شكل قوالب الطوب ويكون فيها الحامض النووى مغلفاً تغليفاً تاماً . وترتب هذه الفيريونات الأخيرة ضمن مجموعات الطراز الأيسومترى ، كما يضم نفس الطراز أيضاً الفيروسات التى على شكل أبو ذنيبه (Tadpole) وتتطفل على بعض أنواع البكتريا .

التصنيف :

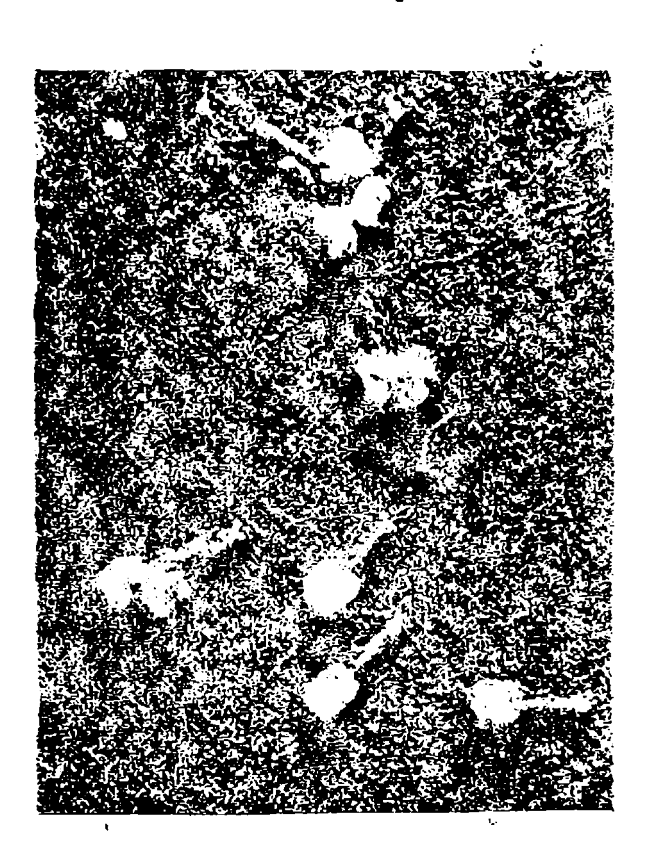
لا يزال العالم حديث عهد بالتعرف على الخصائص الأساسية للفيروسات ، والمعلومات لا تزال قاصرة على نسبة ضئيلة من أنواع الفيروسات التى أميط عنها اللثام حتى الآن ، ولذلك لم يوضع بعد أى تصنيف لها متفق عليه ، وإنما جرت العادة على تسمية كل فيروس باسم المرض الذى يسببه ، أو حتى على وضع رموز اعتباطية لمختلف الفيروسات ، ولم تقابل محاولة تطبيق التسمية الثنائية المتبعة فى تسمية سائر الكائنات الحية بأى تشجيع من قبل الفيرولوجيين. وقد جرت العادة – على مدى بضعة عقود – على تحديد ثلاث مجموعات عامة من الفيروسات وهى : (١) الفيروسات الحيوانية ، (٢) الفيروسات النباتية ، (٣) الفيروسات البكتيرية ، وهى المعروفة باسم آكلات – أو لاقمات – البكتيريا (Bacteriophages) ، وتختصر أحياناً إلى لاقمات (Phages) . ويجب التنويه هنا بأن بعض الفيروسات النباتية تعيش بنفس الدرجة من النجاح على الحشرات التى تنقل المرض الفيروسى إلى النبات المصاب بها كمعيشتها على النبات المصاب نفسه ، ولذلك فهناك ما يبرر اعتبار مثل هذه الفيروسات فى عداد الفيروسات الحيوانية .

وهناك محاولات حديثة لوضع تصنيف أكثر تحديداً للفيروسات ، يعتمد على ثلاث صفات ممثلة بدرجات متفاوتة فى مختلف الفيروسات ، وهذه الصفات هى : (١) اللب البروتينى النووى ، وما إذا كان من مادة « د ن أ » أو من مادة « ر ن أ » ، (٢) الكابسيد وما إذا كان من طراز عقربى (Helicoid) أم من طراز أيسومترى (Isometric) ، (٣) وجود الغلاف (Envelope) الخارجى للفيريون أم عدم وجوده . ولم يتفق بعد على مدى الأهمية التصنيفية

لكل من هذه الصفات الثلاث . وفى هذا الإطار يجب ملاحظة أن جميع الفيروسات النباتية تقريباً لها لب من الحامض النووى « ر ن أ » ، بينما جميع الفيروسات الحيوانية المعروفة حتى الآن لها إما من الحامض النووى « د ن أ » وإما من حامض « ر ن أ » على حسب نوع الفيروس . أما الفيروسات البكتيرية المذنبة (شكلا ١٦٨ ، ١٦٩) فإنها تمثل مجموعة متميزة من الفيروسات الأيسومترية عديمة الغلاف التى يتكون لبها من حامض « د ن أ » ، على أن بعض الفاجات يعوزها الذنب المميز للبعض الآخر ، وبعضها ذات لب من حامض « ر ن أ » .

ويثور الجدل حول مجرد إمكان عمل تصنيف طبيعى للفيروسات — من الوجهة النظرية — على أساس علاقات نشأة وراثية تطورية (Phylogenetic Relationships) فإذا صح أن غالبية الفيروسات قد اشتقت أصلا من البكتريا

(شكل ١٦٩)



فيريون طراز الفاج ت — ٤ تحت المجهر الإلكترونى

عن طريق التبسيط المتكرر جيلا بعد جيل — كما يعتقد بعض البيولوجيين — فإن وضع نظام تصنيف طبيعي لها لا بد أن يكون ممكنا من الوجهة النظرية ، أما إذا كانت جميعها أو غالبيتها مشتقة من جزيئات منها هي نفسها أو من خلايا عوائلها — كما يعتقد فريق آخر من البيولوجيين — فإن إجراء تصنيف على أساس نشأة وراثية تطورية يبدو غير ممكن .

خواص الفيروسات :

تناول الفيرولوجيون دراسة البلورات النيوكليوبروتينية المسببة لأمراض النبات بإسهاب من حيث محتواها الفيروسي فى كل لتر من عصير النبات المصاب ومن حيث وزنها الجزيئى (جدول ٥) .

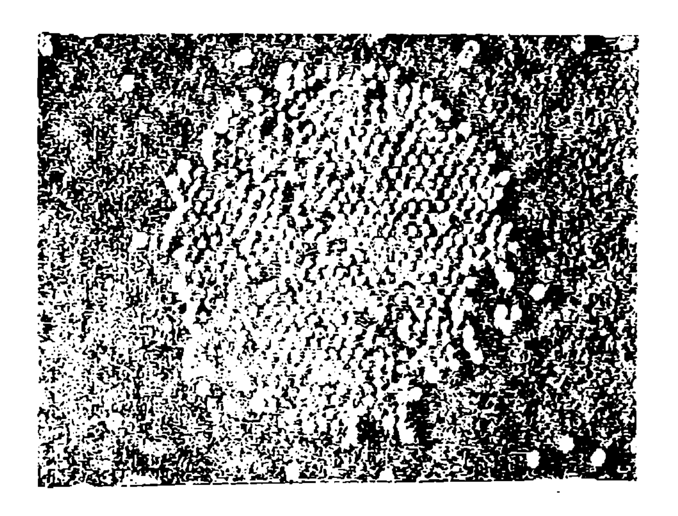
والبلورات الفيروسية ليست مكونة فقط من بروتين بل هى مزيج من البروتين وحامض النيوكليك ، وتعد بمثابة طراز من الموجودات الممرضة التى تتوسط فى خواصها عالمى الأحياء والجماد (شكل ١٧٠)

جدول ٥

خواص بعض الفيروسات النباتية

فيروس	جرام فيروس فى كل لتر من عصير النبات	شكل وحجم الفيروس	الوزن الجزيئى للفيروس
تبرقش الدخان (Tobacco mosaic)	٢	عصوى ٦٠٠ × ١٥ ملليميكرون	٤٠ × ١٠^{٦}
نخر الدخان (Tobacco necrosis)	٥٠٤ر٠	مستدير قطر ٢٠ ملليميكرون	٦ × ١٠^{٦}
التقزم الشجيرى للطماطم (Tomato bushy stunt)	٠٥ر٠	مستدير قطر ٢٦ ملليميكرون	٧ × ١٠^{٦}

(شكل ١٧٠)



صورة بالمجهر الالكترونى لفيروس نقى
مكبر حوالى ٥٠٠٠٠ مرة (عن كليفتون)

وتتمثل الخواص الأحيائية للفيروسات فيما يلى :

١ - قدرتها على النمو والتكاثر فى خلايا العائل أو أنسجته وأعضائه بعد إصابتها بها ، وإحداثها لأعراض المرض بعد زمن محدد ، أى أن لها القدرة على مضاعفة ذاتها .

٢ - اعتمادها اعتماداً كلياً على الخلايا الحية فى نموها وتكاثرها .

٣ - يستجيب الفيروس لتأثير درجة الحرارة ، وهناك مدى طردى خاص بكل فيروس إذا تجاوز أياً من حديه الأعلى أو الأدنى فقد صفاته الطبيعية وقدرته التطفيلة .

٤ - القدرة على إنتاج سلالات متطفرة ، بيد أن الطفرة هنا ليست جينية ، - كما هو الحال فيما عداها من أحياء خلوية - بل إلكترونية ، مسببة عن فقد الجزئ الفيروسى لأحد الإلكترونات ، نتيجة لتأثير إشعاعات مؤينة (Ionising Irradiations) أو غيرها من العوامل، وما يتبع ذلك من إعادة تنظيم الأيونات داخل الجزئ ، مما يسبب تغيراً فى الصفات الكيميائية ، وبالتالى فى القدرة التطفلية وغيرها من القدرات .

٥ - المدى الانتخابي العوامل التى تتطفل عليها . ذلك أن الفيروسات تختلف فيما بينها فى أنواع العوائل التى تتطفل عليها ، فمن الفيروسات النباتية مالا تستطيع التطفل إلا على عائل نباتى واحد ، مثل فيروس تبرقش الذرة الذى لا يستطيع أن يتطفل إلا على نبات الذرة وحده ، ومنها مالا يستطيع أن يتطفل إلا على نباتات فصيلة واحدة فقط ، ومنها ما هو واسع المدى العائلى (Host range) ، مثل فيروس مرض تجعد البنجر الذى يتطفل على حوالى ٣٢٠ نوعاً من النباتات موزعة بين إحدى وأربعين فصيلة .

وهذا المدى الانتخابى للعوائل يتمثل كذلك فى الفيروسات التى تتطفل على الحيوان والإنسان ، فهناك مثلا من بين هذه الفيروسات مالا تستطيع أن تتطفل إلا على الإنسان وحده دون غيره من الحيوانات ، مثل الفيروسات المسببة لأمراض الإنفلونزا والحصبة وشلل الأطفال ، وهناك منها ما تستطيع الانتقال ما بين الإنسان وبعض الحيوانات ، ويبين (جدول ٦) بعض هذه الفيروسات ، من حيث العائل الرئيسى وغيره من عوائل طبيعية ، ومن حيث وسيلة الانتقال وأعراض المرض التى تظهر على العائل الرئيسى .

أما الخواص الجمادية للفيروسات فتتمثل فيما يلى :

١ - قدرتها على التبلور فى أنابيب الاختبار ، مثلها فى ذلك مثل الكيماويات التى لا تنبض بالحياة .

٢ - ليس للفيروسات أى نشاط أيضى (Metabolic activity) يمكن التعرف عليه خارج العوائل المتخصصة التى تتطفل عليها .

تزريع الفيروسات :

تختلف الفيروسات عن البكتيريا والفطريات بكونها إجبارية التطفل ، بمعنى أنها لا تستطيع أن تعيش بمنأى عن عوائلها الحية . ولذلك فهى لا تستطيع النمو والتكاثر فى منابت غذائية صناعية كتلك التى تنمو عليها الفطريات والبكتيريا بل لها طرقها الخاصة فى التزريع ، وهناك ثلاث طرق لتزريع الفيروسات من أجل استمرار نموها ومواصلة حياتها :

(جدول ٦)

بعض الفيروسات التى تنتقل بين الانسان والحيوان

الفيروس	العائل الرئيسى	العوائل الأخرى الطبيعية	وسيلة الإنتقال	الأعراض على العائل الرئيسى
الحمى الصفراء	الإنسان	القرود	البعوض	يرقان الكبد واصفرار الكلى
الجدرى البقرى	الماشية	الإنسان	الملامسة	بثرات جلدية
الكلب	الكلب	القط ، الذئب ، الثعلب ، الإنسان	الملامسة (العض)	شلل الزور والتهاب الدماغ
حمى الببغاء	الببغاء	الحمام وغيره من طيور الإنسان	الملامسة	إسهال ، إفرازات أنفية ، إصفرار الكبد ، التهاب رئوى

(أولا) تزريع الفيروس بحقنه فى الحيوانات أو النباتات القابلة للإصابة به .

(ثانياً) **المزارع النسيجية** (Tissue cultures) : والمزرعة النسيجية هى مزرعة تحتوى على خلايا من أعضاء أو أنسجة حية تنمو على منبت غذائى يكفل لها مواصلة نموها ودوام حياتها ، حتى إذا لقحت بأحد الفيروسات استطاع الفيروس أن يعيش متطفلا عليها تطفلا اجبارياً ، ومن ثم تتكون المزرعة النسيجية من ثلاثة أجزاء :

(أ) **السائل المعلق** (Suspending fluid) : وهو المنبت الغــذائى الذى يحتوى على كل الاحتياجات الغذائية لتنمية الخلايا الحية ومواصلة حياتها ، وهناك عدة محاليل تستغل لتحقيق هذا الهدف ، ومن بينها محلول تيرود (Tyrode's solution) ، ومكوناته كالآتى :

(مكونات محلول تيرود)

ص كل	٨ جرام	ص يد$_2$ فو$_4$ . . .	٠,٠٥ جرام
بو كل	٠,٢ «	ص يد كا$_3$ . . .	جرام واحد
كا كل$_2$	٠,٢ «	جلوكوز . . .	جرام واحد
ما كل$_2$	٠,١ «	ماء	لتر واحد

(ب) **خلايا نسيجية حية :** تحضر من أجنة الفئران أو الدجاج ، أو من الجلد أو الكبد أو المبايض أو الكلى .

(ج) **الملقح الفيروسى** (Virus inoculum) : وهذا الملقح قد يكون دماً ملوثاً بالفيروس أو أجزاء من أنسجة وأعضاء مصابة أو غيرها من ملقحات فيروسية .

وتحضر الخلايا الحية من مفروم الأجنة أو غيرها من أنسجة وأعضاء حية ، ويضاف حوالى ٠,٢ جرام من المفروم إلى ٢٥ ملليلترا من محلول تيرود فى إناء زجاجى معقم ، ثم يضاف إليها الملقح الفيروسى ، وبذلك يستطيع الفيروس أن يعيش معيشة تطفل اجبارى فى هذه المزرعة النسيجية ، إذ يأخذ فى النمو والتكاثر على الخلايا الحية .

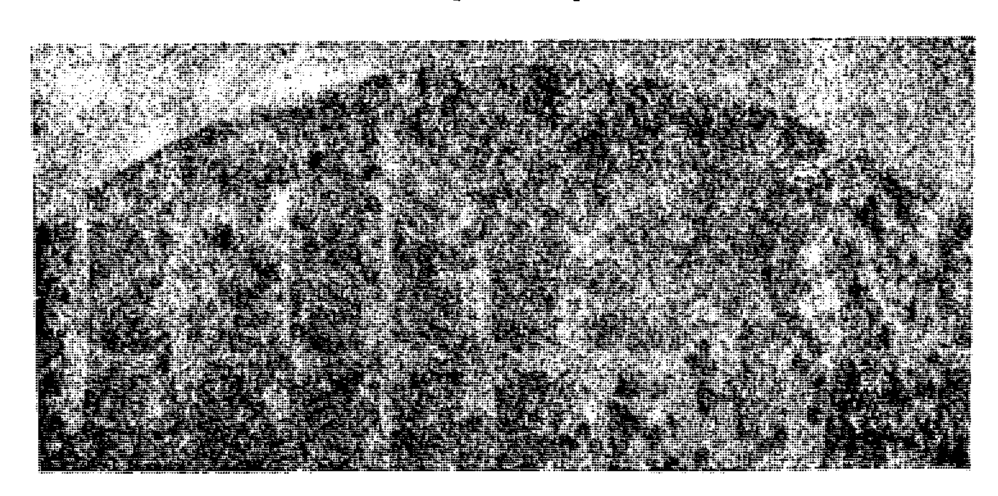
(ثالثاً) تزريع الفيروس على أجنة دجاج حية : وذلك بحقن الجنين — وهو داخل البيضة الملقحة — بمادة تحتوى على الفيروس ، كنسيج من عائل مصاب أو دماء أو لعاب أو عصير ، ويظل الجنين قابلا للإصابة بالفيروس ما بقى محتبساً داخل البيضة وموضوعاً داخل محضن (Incubator) عند درجة حرارة خاصة ، إلا أنه يفقد قابليته للإصابة بعد الفقس ، وقد يرجع ذلك إلى حدوث تغيرات فى العمليات الأيضية للجنين بعد الفقس .

التركيب الكيميائى للفيروسات :

يتركب الفيروس من بروتين وحمض نووى (Nucleic acid) وقليل

من مواد أخرى. ويتكون البروتين نتيجة بلمرة (Polymerization) عدد من الأحماض الأمينية تتشكل على هيئة سلسلة ببتيدية . وتتباين البروتينات فيما بينها من حيث عدد ما بها من أحماض أمينية وأنواعها وطرق ترتيبها ومدى تكرارها أو تنوعها ووضعها فى السلسلة الببتيدية ، وقد يصل عدد جزيئات الأحماض الأمينية فى جزئ واحد من البروتين إلى المئات بل إلى الآلاف فى بعض الأحيان (شكل ١٧١) .

(شكل ١٧١)



الفيروسات من بلورات نيوكليوبروتينية ، ويبين الشكل طريقة انتظام الذرات فى أحد جزيئات الفيروس

وتتركب الجزيئات البروتينية من سلاسل ببتيدية طويلة للغاية ، ويكون لكل حمض من الأحماض الأمينية المكونة لها الرمز العام الآتى :

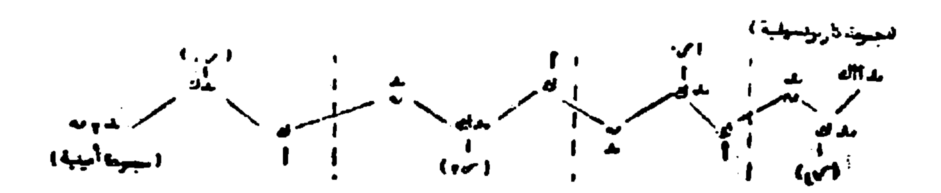
(ر) — ك يد (ن يد٢) — ك ا ا يد

مجموعة أمينية　　　مجموعة كاربوكسيلية

(قاعدية)　　　(حامضية)

حيث يدل الرمز (ر) على التركيب الكيميائى الخاص بكل حمض أمينى من مكونات الأحماض الأمينية فى السلسلة الببتيدية ، فإذا رمزنا لمجاميع الأحماض الأمينية المنبثقة من جوانب السلسلة الببتيدية بالرموز الآتية : (ر١ ، ر٢ ، ر٣ ، ر٤) ، فإن السلسلة الببتيدية تكون فيها الأحماض الأمينية بارزة ومتبادلة

على جانبى السلسلة الببتيدية ، ومن ثم فلا بد أن تنتهى هذه السلسلة فى أحد أطرافها بمجموعة أمينية وفى الطرف الآخر بمجموعة كاربوكسيلية ، كما يتضح من الشكل الآتى :



ومما يلاحظ أن مكونات السلسلة الببتيدية من الأحماض الأمينية فى البروتينات الفيروسية تشابه إلى حد كبير مثيلاتها فى السلسلة الببتيدية لبروتينات فطرة الخميرة والعضلات الحيوانية ، وقد تتماثل فيها كذلك إلى حد كبير النسب المئوية ، كما هو مبين فى (جدول ٧) .

أما حمض النيوكلييك (Nucleic acid) فيتكون من عدد من النيوكليوتيدات (Nucleotides) ، وهى أربعة فى معظم الفيروسات ، وتعد النيوكليوتيدة بمثابة الوحدة الأساسية فى تكوين حمض النيوكلييك، إذ يتكون الحمض الأخير من اتحاد عدد من النيوكليوتيدات . وتتركب النيوكليوتيدة الواحدة من جزىء من سكر خماسى "Pentose" — هو الريبوز (Ribose) — مرتبطاً من ناحية بجزىء من حمض الفوسفوريك ومن الناحية الأخرى بقاعدة (بيورين "Purine" أو بيريميدين "Pyrimidine") ، كما هو مبين على النحو التالى :

(نيوكليوتيدة)

حمض فوسفوريك — سكر خماسى — قاعدة

(ريبوز) (بيورين)

(بيريميدين)

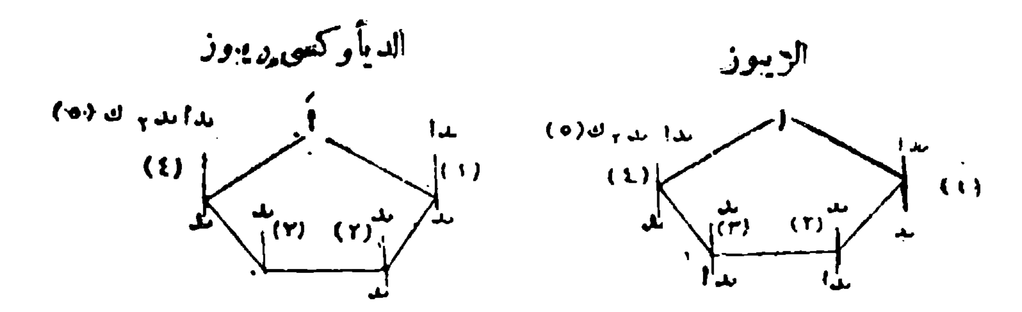
(جدول ٧)

النسب المئوية للأحماض الأمينية فى بروتينات فيروسية وفى بروتينات فطرة الخميرة والعضلات الحيوانية .

الحمض الأمينى	فيروس تبرقش الدخان	بكتيريوفاج (ت ٣)	فطرة الخميرة	العضل الحيوانى
أرجينين [Arginine]	٨ر٨	٢ر٨	٤ر٣	٧ر١
هستيدين [Hisidine]	—	٠ر٧	٢ر٨	٢ر٢
ليسين [Lysine]	١ر٣	٢ر٤	٦ر٤	٨ر١
تيروسين [Tyrosine]	—	—	٤ر٢	٣ر١
تربتوفين [Tryptophane]	١ر٩	—	١ر٤	١ر٢
فينيل الانين [phenylalenine]	٧ر٥	١ر٤	٤ر١	٤ر٥
سيستين [Cystin	—	—	١ر٣	١ر١
مثيونين [Methionine]	—	٠ر٧	أثر	٣ر٣
ثريونين Threonine]	٨ر٤	٢	٥	٥ر٢
ليوسين [Leucine]	٨	٣ر٧	١٣ر٢	١٢ر١
أيسوليوسين [Isoleucine]	٥ر٧	١ر٨	٣ر٤	٣ر٤
فالين [Valine]	٧ر٨	٢ر٤	٤ر٤	٣ر٤

والسكر الخماسى الذى تحتويه النيوكليوتيدة إما أن يكون من طراز الريبوز أو الديأوكسى ريبوز (Deoxyribose) ، ويختلف الريبوز عن الديأوكسى ريبوز فى احتوائه على ذرة إضافية من الأكسجين فى الموقع الثانى من الكربون ، كما يتضح من تركيبهما الكيميائى الآتى (شكل ١٧٢) .

(شكل ١٧٢)



ومن ثم فيوجد طرازان من النيوكليوتيدات بحسب ما إذا كان السكر الخماسي ريبوز أو ديأوكسي ريبوز ، وهما الريبو نيوكليوتيدات (Ribonu-cleotides) والديأوكسي ريبونيوكليوتيدات (Deoxyribonucleotides) ، ومن ثم فيوجد بالتالي طرازان من حمض النيوكلييك هما : حمض الريبونيوكلييك (Ribonucleic acid) الذي يكون فيه الريبوز هو السكر الخماسي في جميع ما يحتويه الحمض من نيوكليوتيدات ، ويرمز له عادة بالحرف « ر ن أ » (RNA) ، وحمض الديأوكسي ريبونيوكلييك (Deoxyribonucleic acid) الذي يكون فيه الديأوكسي ريبوز هو السكر الخماسي في جميع ما يحتويه من نيوكليوتيدات ، ويرمز له عادة بالحروف « د ن أ » (DNA) .

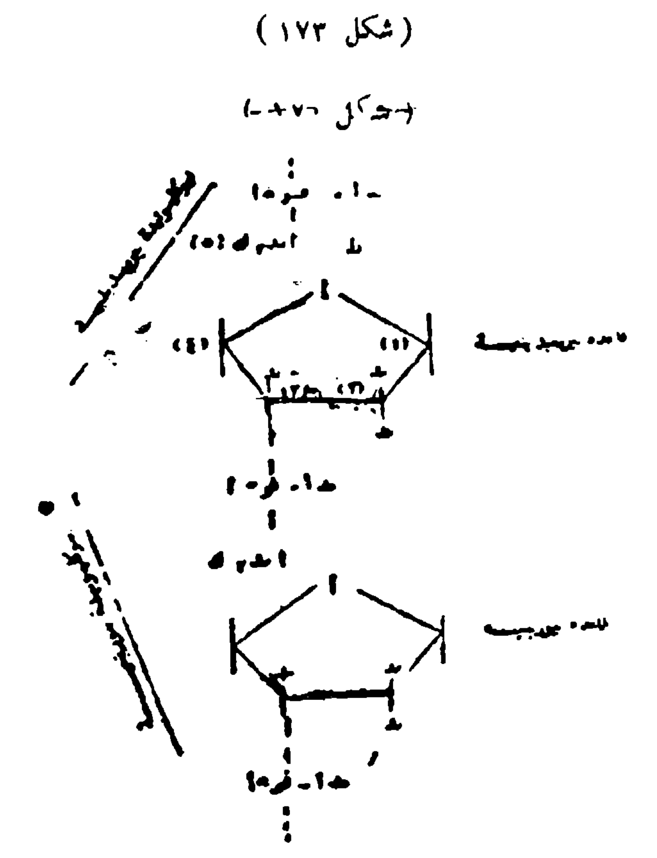
وتتكون أحماض النيوكلييك من عدد متتابع من النيوكليوتيدات ، والقواعد الأربع التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات المكونة لجزيء حمض الريبونيوكلييك هي :

١ ــ أدينين (Adenine)
٢ ــ جوانين (Guanine)
} قواعد بيورينية (Purine bases)

٣ ــ سيتوسين (Cytosine)
٤ ــ يوراسيل (Uracil)
} قواعد بيريميدينية (Pyrimidine bases)

ويختلف حمض الديأوكسى ريبونيوكليبك عن حمض الريبونيوكليبك — بالإضافة إلى التباين فى ماهية السكر الخماسى — من حيث إحلال القاعدة البيريميدينية « الثيمين » (Thymine) محل اليوراسيل ، ويبين (شكل ١٧٣) تسلسل وتتابع نيوكليوتيدتين — إحداهما بيورينية (Purine nucleotide) والأخرى بيريميدينية (Pyrimidine nucleotide) — فى جانب من جزىء حمض الديأوكسى ريبونيوكليبك ، ويتضح من الشكل أن النيوكليوتيدات ترتبط ببعضها البعض داخل جزىء حمض النيوكليبك عن طريق مجموعات حمض الفوسفوريك ، وتتصل كل نيوكليوتيدة بالنيوكليوتيدة التى تقع فوقها بمجموعة فوسفورية ترتبط بالموقع الخامس من الكربون فى السكر الخماسى الذى تتضمنه النيوكليوتيدة ، وترتبط بالنيوكليوتيدة التى تقع أسفلها بمجموعة أخرى فوسفورية تتصل بالموقع الثالث من الكربون .

(شكل ١٧٣)



تتابع نيوكليوتيدة بيورينية وأخرى بيريميدينية فى جانب من جزىء حمض الديأوكسى ريبونيو كليبك

وتتميز جميع الفيروسات التى تصيب النباتات بأن حمض النيوكلييك فيها من طراز الريبونيوكلييك كما فى فيروس تبرقش الدخان ، أما الفيروسات الممرضة للإنسان والحيوان فقد يكون هذا الحمض فى بعضها من طراز الريبونيوكلييك كما هو الحال فى الفيروسات التى تصيب النباتات وفيروس شلل المخ الذى يصيب الحصان ، أو يكون فى البعض الآخر من طراز الديأوكسى ريبونيوكلييك كما فى فيروس الجدرى البقرى ، وكذلك فى جميع البكتريوفاجات ، أو يكون فى قلة منها خليطاً من الطرازين الحامضين كما فى فيروسى الإنفاونزا ومرض نيوكاسل الدجاج . ويبين (جدول ٨) النسب المئوية لكل من الحامضين فى بعض الفيروسات ، وتتوقف هذه النسب إلى حد كبير على طريقة استخلاص الفيروس من العائل المتطفل عليه وعلى طريقة التحليل وعلى درجة نقاوة الفيروس بعد الاستخلاص .

ومما لا ريب فيه أن تركيب حمض النيوكلييك عرضة للتغيير إلى عدد غير محدود من التشكيلات النوكليوتيدية ، تبعاً لما قد يعتريه من إحدى التغيرات التالية (١ — ٤) :

١ — تغير زوج أو أكثر من القواعد.

٢ — تغير فى تتابع القواعد .

٣ — تكرار زوج من القواعد .

٤ — نقصان زوج من القواعد .

ولما كان من المعروف أن الأحماض النووية تدخل فى تكوين بعض المحتويات الهامة فى الخلية كالصبغيات والبلاستيدات والميكروسومات وغيرها ، وأنها المركبات الكيميائية التى انفردت دون غيرها من مركبات بالقدرة على التكاثر الذاتى ، وأنها هى الحاملة للعوامل الوراثية ، فالاختلاف فى تركيب هذه الأحماض النووية فى مختلف الفيروسات قد يكون هو المسئول عما تبديه هذه الفيروسات من تباين فيما بينها من حيث الصفات الرئيسية ومن حيث القدرات والتخصصات التطفلية .

(جدول ٨)

النسب المئوية لكل من حامضى الريبونيوكلييك (ر ن أ) والديأوكسى ريبونيوكلييك (د ن أ) فى بعض الفيروسات العالية النقاوة .

طراز الفيروس	فيروس	النسبة المئوية (رنأ)	النسبة المئوية (دنأ)
فيروسات نباتية	نخر أوراق الدخان	١٨	—
	تبرقش البرسيم الحجازى	١٥	—
	تبرقش الدخان	٦	—
فيروسات حيوانية	شللى المخ للحصان	٤	—
	الجدرى البقرى	—	٦
	الأنفلونزا (PRS)	٤,٥	٠,٣
بكتيريوفيجات	بكتيريوفاج (ت٣)	—	٥٠

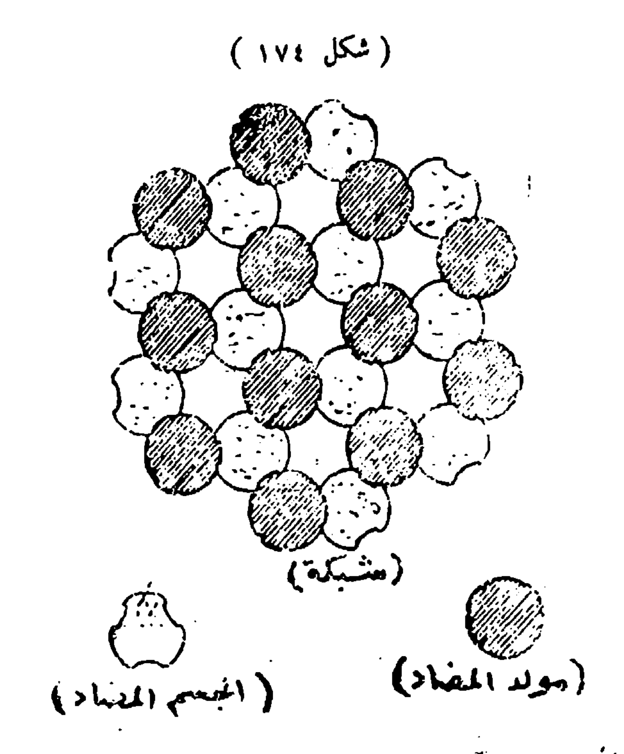
آلية المناعة ضد الفيروسات

لما كانت الحبيبات الفيروسية تحتوى على كميات ضخمة من البروتينات ، ولما كانت الأخيرة لها خاصة توليد المضاد (Antigenicity) فقد أصبح لزاماً أن يكون للفيروسات هذه الخاصة بالذات . ويعرف مولد المضاد (Antigen) بأنه المادة التى إذا حقنت فى جسم إنسان أو حيوان استحثت مصل الدم على تكوين أجسام مضادة (Antibodies) له ، تظهر نتيجة تحور بعض بروتينات مصل الدم – وتعرف باسم الجاما جلوبيولينات (8-globulins) التى تتشكل فى أجزاء خاصة منها تركيبياً وكهربياً ليمكنها التلاحم والتكامل مع أجزاء مقابلة لها على الفيروس أو مولد المضاد ، وتسرى هذه الأجسام المضادة فى تيار مصل الدم لتصل إلى كافة أجزاء الجسد وتستطيع أن تتحد بوجه خاص مع مولدات المضاد التى تتلاحم وتتكامل معها بالذات تركيبياً وكهربياً ،

ويتضمن التفاعل بين مولد المضاد (الفيروس) والجسم المضاد تكوين شبكة (شكل ١٧٤) .

وتؤثر الأجسام المضادة إذا اختلطت بالفيروسات (كمولدات مضادة) ، فى الأجساد الحية أو فى أنابيب الاختبار ، بطريقة أو بأخرى من الطرق الآتية :

(شكل ١٧٤)



طريقة تكوين شبكة نتيجة الاتحاد بين جزيئات مولد المضاد والأجسام المضادة . ويرى فى هذا الرسم التخطيطى مواضع اتحاد مولد المضاد كبروزات ومواضع اتحاد الجسم المضاد كتضاريس

١ — التلازن (Agglutination) : وهو تجميع الحبيبات الفيروسية فى كتل متلازنة وتشابكها واتحادها مع الأجسام المضادة .

٢ — التعادل (Neutralization) : وهو امتزاز (Adsorption) الأجسام المضادة على الفيروسات ، مما ينتج عنه إيقاف القدرة الطفيلية لهذه الفيروسات .

٣ — الترسيب (Precipitation) : وهو ترسيب بعض مولدات المضاد الذائبة .

٤ - الإذابة (Lysis) : وهى إذابة بعض مولدات المضـاد التى تكون قابلة لذلك .

وتلازن الفيروس مع - أو امتزازه على - الجسم المضاد لا يتلف الفيروس أو يسبب له الهلاك ، بل يعمل على إيقاف عمله ونشاطه التطفلى ويحول دون إحداثه للأمراض، إذ يمكن بعد ذلك تخليص الفيروس والحصول عليه ناشطاً ومحتفظاً بقدرته التطفلية بإجراء بعض المعاملات .

وتتوقف عملية تمنيع (Immunization) الأجساد - أو إكسابها مناعة ضد الفيروسات - على العمل على استحثاثها بطريقة ما لتكوين أجسام مضادة لكل فيروس بالذات ، حتى إذا تطاول هذا الفيروس لإحداث المرض أخذت الأجسام المضادة فى الاتحاد معه أو امتزازه فتحول بذلك دون إحداثه للمرض .

ويرجع الفضل الأول فى إكتشاف ظاهرة تمنيع الأجساد ضد الإصابات الفيروسية إلى العالم الانجليزى « إدوارد جينر » عام ١٧٩٦ ، إذ لاحظ أثناء اشتغاله كطبيب فى الأرياف أن الذين يقومون بحلب الأبقار يصابون بحالات معتدلة من الجدرى البقرى (Cowpox) ، ولا يلبثون إلا أمداً قصيراً حتى يشفوا منها ، ولاحظ أن هؤلاء الأشخاص بالذات لا يصابون بمرض الجدرى الإنسانى (Smallpox) الخطير عند انتشاره كوباء ، ومن ثم قام « جينر » بإجراء التجربة الآتية لإيجاد ماهية العلاقة بين الإصابة بالجدرى البقرى والجدرى الإنسانى فى الإنسان . . . أخذ « جينر » المادة المصلية أو الليمفاوية من بثرات ضروع بقرة مصابة بالجدرى البقرى ونثرها على ذراع إنسان ، فتكونت بثرة موضعية على الذراع ، ما لبثت بسرعة أن التأمت وتركت وراءها ندبة مميزة ، ولاحظ أن الإنسان الذى لقح بالجدرى البقرى اكتسب مناعة ضد الإصابة بمرض الجدرى الإنسانى العضال ، حتى أثناء انتشاره كوباء ، ولذلك عرفت هـذه العمليـة باسم الفكسنه (Vaccination) ، وهى اصطلاح لاتينى مشتق من كلمة « فاكا » (Vacca) بمعنى بقرة ،

وعرف فيما بعد أن فيروس الجدرى البقرى ما هو إلا سلالة موهنة من فيروس الجدرى الإنسانى . بمعنى أنه يستحث الأجساد الحية على تكوين الأجسام المضادة للجدرى الإنسانى دون أن يسبب لها المرض إلا بمقدار يسير لا خطر منه .

وهناك ثلاثة طرز من المناعة ضد الأمراض الفيروسية وهى :

١ — المناعة الطبيعية (Natural Immunity) .

٢ — المناعة المكتسبة أو الصناعية (Acquired or artificial Immunity).

٣ — المناعة المنتقلة (Passive Immunity) .

وتتمثل المناعة الطبيعية فى قدرة بعض الأشخاص على تمنيع أجسادهم ضد المرض الفيروسى لما تبديه الجاما جلوبيولينات (γ-globulins) الموجودة فى مصل الدم كمادة بروتينية من سرعة الاستجابة للإصابة الفيروسية فتحور نفسها على التو — شكلياً وكهربياً — لتتلازن مع الفيروس أو تعمل على امتزازه فتحول بذلك دون سريانه فى الجسد فى حالة حرة تمكنه من الاحتفاظ بقدرته التطفلية وإحداثه للمرض .

أما المناعة المكتسبة أو الصناعية فهى — كما يستدل من معناها — إكساب الأجساد الحية مناعة ضد الإصابات الفيروسية باستحثاثها على تكوين الأجسام المضادة للفيروس المعتدى ، ويتم ذلك بإحدى الطرق الآتية :

(أ) الحقن بسلالات موهنة : وذلك بحقن الأجساد بسلالة موهنة من الفيروس الممرض ، ليس لها القدرة على إحداث المرض ولكن تحتفظ بقدرتها على توليد المضاد (Antigenic) ، ويتم التوهين (Attenuation) إما بتمرير الفيروس داخل جسم حيوان يحد من ضراوته كمسبب لمرض يصيب الإنسان ولكن لا يحول دون احتفاظه بالقدرة على توليد المضاد ، كما هو الحال فى فيروس الجدرى البقرى كسلالة موهنة لفيروس جدرى

الإنسان ، أو بتكرار تمريره فى مزارع نسيجية وحقنه فى أجنة بيض الدجاج كما هو الحال فى فيروس الحمى الصفراء .

(ب) الحقن بالحبيبات الفيروسية الميتة : وهذه الوسيلة متبعة للتمنيع ضد الكثير من الأمراض الفيروسية ، كأمراض الأنفلونزا والنكاف (التهاب الغدة النكفية) وشلل الأطفال . ويشمل اللقاح أجسام الفيروس ذاتها بعد قتلها فى محلول الفورمالين (غالباً ٠,٢ ٪ فورمالدهيد) أو الفينول أو بالحرارة أو بتعريضها مدة كافية لأشعة إكس أو الأشعة فوق البنفسجية ، ويتم قتلها بهذه الكيماويات أو الإشعاعات لمدة تكفى لإبطال قدرتها على إحداث الأمراض دون أن يؤثر ذلك فى قدرتها على توليد المضاد .

(ج) الإصابة بالفيروس عن الطريق غير المعتاد : لما كان لكل فيروس طريق خاص للانتشار داخل الأجساد يصل منه إلى الأنسجة أو الأعضاء المعينة التى يستطيع أن ينمو ويتكاثر بداخلها لإحداث المرض ، فإن حقن الفيروس فى الطريق غير المعتاد لانتشاره وتكاثره لا تمكنه من الوصول إلى تلك الأنسجة أو الأعضاء القابلة للإصابة ، فيحول ذلك دون قدرته على إحداث المرض ولكن يستحث الأجساد على تكوين الأجسام المضادة لهذا الفيروس بالذات فيكسبها مناعة .

أما المناعة المنتقــلة (Passive Immunity) فتتم بحقن الأشخاص المراد تمنيعهم ببلازما إنسان أو حيوان تحتوى على أجسام مضادة تم فعلا تكوينها ، كبلازما إنسان أو حيوان لديه المناعة الطبيعية ضد أحد الأمراض الفيروسية أو تم فعلا تمنيع جسده بإحدى الوسائل الصناعية ، وتستعمل هذه الطريقة فى بعض الأحيان لاكتساب مناعة ضد فيروسى الحصبة وشلل الأطفال ، إذ وجد أثناء انتشار الوباء بإحدى تلك الفيروسات أن بعض الأشخاص لديهم القوة الفذة على مقاومة المرض ، لما تسبغ عليهم مناعتهم الطبيعية من قدرة على التغلب على الإصابة الفيروسية ، ووجد أن مصل الدم عندهم يحتوى على

أجسام مضادة للفيروس بكميات وفيرة ، على هيئة بروتينات جلوبيولينية متحورة ومتكاملة مع حبيبات الفيروس شكلياً وكهربيا ، فتستخرج هـــذه البروتينات المتحورة بالذات (أو الأجسام المضادة للفيروس) ليحقن بها الأشخاص لإكسابهم مناعة منتقلة ضد المرض ، لا سيما عند ذيوع انتشاره كوباء .

وبجانب تمنيع الأجساد ضد الأمراض الفيروسية ، وجد أن بعض الفيروسات – لا سيما تلك التى تتميز بكبر أحجامها – تستجيب كالبكتيريا للمضادات الحيوية ، ومن أمثلة ذلك التأثير العلاجى لكل من الكلوروميسيتين والأوريوميسين والكربوميسين (Carpomycin) على مرضى حمى الببغاء واللماف الزهرى (Lymphogranuloma venereum) .

التلازن الدمى (Haemagglutination)

لاحظ هيرتس (Hirts) عام ١٩٤١ أن الدم إذا ألقى فى سائل يحتوى على فيروس خاص فإن كرات الدم الحمر لا تلبث أن تتلازن بسرعة ، بمعنى أنها تتجمع مع بعضها البعض ومع الفيروس وتترسب بطريقة مميزة ، ولا يحدث مثل هذا التلازن فى السوائل الخالية من الفيروسات . ويرجع حدوث هذا التلازن الدمى إلى تشابك حبيبات الفيروس مع كرات الدم الحمر أو امتزازها بوساطة الكرات الأخيرة ، وأمكن إثبات ذلك بالأدلة الآتية :

١ – معايرة الفيروس الحر فى السائل الذى يحتويه قبل وبعد حدوث التلازن الدمى .

٢ – ما لوحظ عند الفحص بالمجهر الإلكترونى للملازن الدمى (Blood agglutinate) من امتزاز خلايا كرات الدم الحمر للفيروس .

ويمكن التأكد من وجود فيروس ما له القدرة على التلازن الدمى فى مدى فترة قصيرة ، لا تتجاوز الساعة أو أقل ، ومن ثم يعتبر اختبار التلازن الدمى

هذا بمثابة أسهل الطرق وأسرعها لتبين وجود الفيروسات . وقد لوحظت هذه الخاصة بالذات فى ثلاث مجموعات ، تعد إحداها — وهى المجموعة المحتوية على الفيروسات المسببة لأمراض النكاف ونيوكاسل الدجاج والإنفلونزا — من الأهمية بمكان ، لأنه أمكن الاستدلال منها على إمكانية مشاركة الفيروسات للأحياء فى قدرتها على إنتاج الإنزيمات ، وهى المواد البروتينية التى تنتجها الكائنات الحية وتمكنها من تأدية عمليات الأيض وغيرها من عمليات حيوية .

وتستطيع الفيروسات — التى تنتمى إلى المجموعة المشار إليها — أن تعمل على تلازن كرات الدم الحمر لكل من الإنسان وخنازير غينا والدجاج ، إلا أن كرات الدم الحمر المتلازنة بإحدى هذه الفيروسات لا تستطيع معاودة تلازنها بنفس الفيروس بالذات ، ولكن يحتفظ الفيروس المتحرر منها بخاصته التلازنية الدمية . وقد أمكن تفسير هذه الظاهرة على أساس أن التلازن بين الفيروس وكرات الدم الحمر يتم نتيجة نشاط أنزيمى للفيروس على طبقة تحتية مستقرة عند مواضع خاصة على سطح كرة الدم الحمراء ، وأن هذا النشاط الإنزيمى ضرورى لإتمام الترابط بينهما وإبراز ظاهرة التلازن الدمى ، ولا يتم استخلاص الفيروس من الملازن الدمى إلا عند استنفاد الطبقة التحتية اللازمة لإبراز النشاط الإنزيمى ، وبذلك تفقد كرة الدم الحمراء قدرتها على معاودة التلازن مع نفس الفيروس ، أو مع إحدى السلالات الوثيقة الصلة به .

الوضع التطورى للفيروسات

يتضح مما سبق أن الفيروسات تشارك الجماد القدرة على التبلور وتشارك الأحياء قدرتها على التكاثر والانتشار والتطفر والاستجابة للعوامل الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية ، بل وقد تشارك الأحياء فى إحدى صفاتها الرئيسية وهى القدرة على إنتاج إنزيمات للقيام بعملياتها الحيوية ، ويستجيب البعض منها للمضادات الحيوية كما تستجيب لها الكائنات الدقيقة الحية ، ومن ثم فأول ما يتبادر إلى الأذهان هو التساؤل عما إذا كانت الفيروسات تنتمى إلى عالم

الجماد أو عالم الأحياء . وقد اختلفت الآراء ، فمن رأى يقول بأن الفيروسات هى كائنات ذات أحجام متناهية فى الصغر بحيث تعجز المجاهر الحالية — وحتى المجاهر الإلكترونية — عن أن تستبين وجودها ، وأن البللورات البروتينية التى توجد فى الأنسجة المصابة بها ما هى إلا إحدى نواتجها الأيضية ، وهناك رأى يقول بأن الفيروس ليس كائناً حيا بالمعنى المتداول للكلمة ، بل إنه يمثل مرحلة من مراحل تطور المادة الحية ، تعرف باسم المرحلة قبل الخلوية (Precellular).

ويتمشى الرأى الأخير مع ما افترضه الكثيرون من علماء الأحياء بأن زيادة تعقيد المادة المتطورة من التربة — والمولدة للمادة الحية — هى السبب فى انصبابها بالتدريج فى قالب التعضى المعروف بالحياة . وهناك رأى ثالث يفترض أن الفيروسات تشبه الجينات (Genes) الموجودة فى المادة الكروماتينية لنواة الخلية ، وذلك من حيث القدرة على التحكم فى صفات الأنسجة وطريقة تكوينها والقدرة على التضاعف الذاتى داخل الخلايا الحية ، إلا أنها تختلف عن الجينات فى كونها مواد دخيلة تسبب الأمراض ، أما الجينات فتراكيب أساسية مستقرة فى كروماتين النواة وتتحكم فى صفات الأفراد ، ومما يعزز هذا التشابه بين الفيروسات والجينات ما تمخضت عنه دراسة العلاقة التطفلية بين طراز خاص من الفيروسات — يعرف باسم « البكتيريوفاجات » (Bacteriophages) وبين عوائلها البكتيرية الوحيدة الخلية .

البكتيريوفاجات

البكتيريوفاجات — أو لاقمات البكتريا — هى طراز خاص من الفيروسات تصيب البكتيريا وتتطفل عليها تطفلا اجبارياً ، وهى مثل غيرها من فيروسات تتكون أساساً من حمض نووى (ر ن ا) وبروتين ، وهى تعيش على حساب البكتيريا التى تستقر بداخلها وتعمل على تكاثرها ، ولا تلبث أن تعمل على إتلاف الخلايا البكتيرية التى هيأت سبل تكاثرها وازدهارها . ويرجع الفضل فى استكشاف البكتيريوفاجات إلى كل من العالم الانجليزى « تورت » (Twort) عام ١٩١٥ والعالم الفرنسى « ديريل » (D'Herrelle) عام ١٩١٧ . إذ لاحظا

أن بعض عينات من مياه المجارى إذا عقمت بالترشيح — للتخلص مما بها من بكتيريا — وأضيفت إلى مزرعة ينمو بها ميكروب مرض الدوسنطاريا ، فإن الأخير لايلبث أن يذوب وينحل ويختفى اختفاء كليا ، وقد سميت هذه الظاهرة فور اكتشافها ظاهرة « تورت — ديريل » نسبة إلى مستكشفيها ، ثم أعطاها ديريل بعد ذلك إسم البكتيريوفاج أو لاقم البكتيريا .

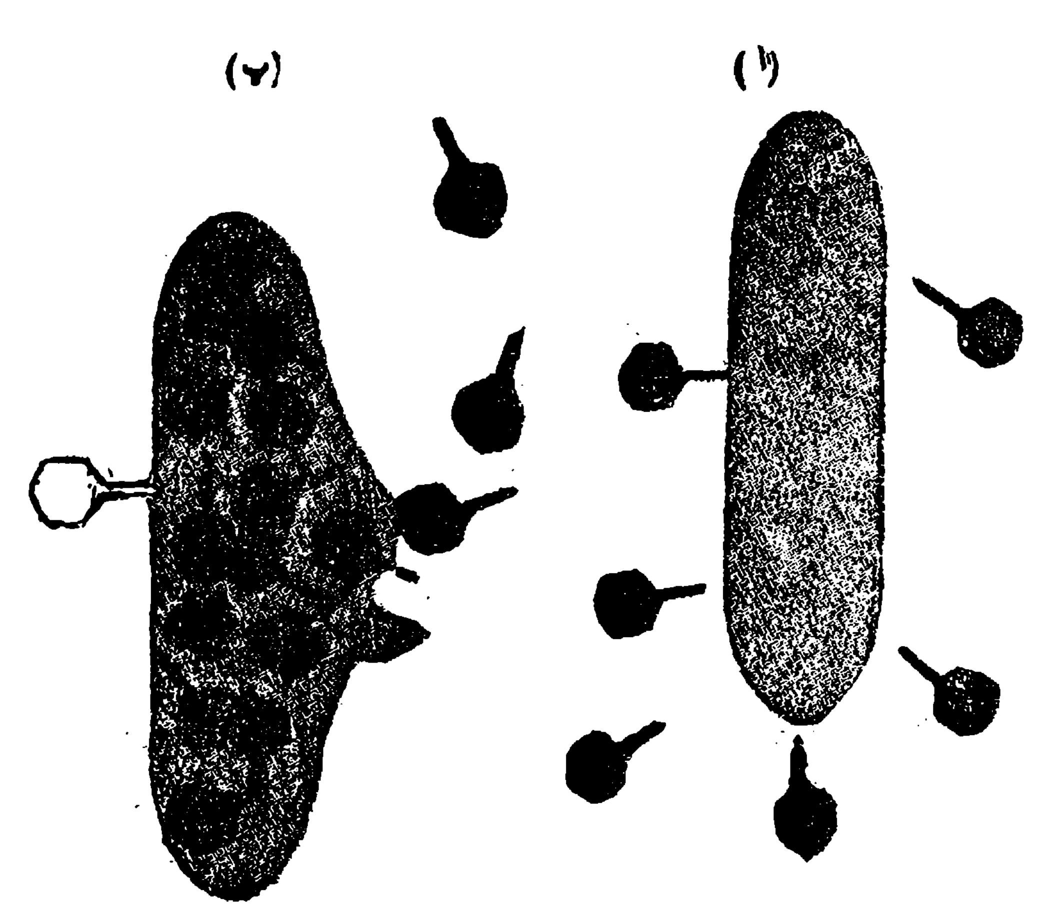
وهناك الكثير من البكتيريوفاجات يعيش كل منها على طراز أو نوع خاص من البكتيريا ، وأكثر البكتيريوفاجات التى تتناولها الدراسات التفصيلية هى تلك المتطفلة على البكتيرة المعوية المعروفة علمياً باسم « إشيريشيا كولاى » (Escherichia coli) ، وتعرف باسم « الكوليفاجات » (Coliphages) ، ويمثل (شكل ١٧٥) دورة حياة إحدى هذه البكتيريوفاجات ، حيث يتركب كل بكتيريوفاج من رأس سداسى الزوايا وزائدة ممتدة منه تشبه الذيل ، ويحتوى الرأس على الحمض النووى للبكتيريوفاج ، الذى يتصل بسطح البكتيرة بالجزء المنبسط من الذيل ، ويندفع الحمض النووى إلى داخل البكتيرة عن طريق هذا الذيل . ويستحث وجود الحمض النووى داخل البكتيرة إلى تكوين عدد من البكتيريوفاجات البنوية ، وينتج عن ذلك تمزق جدار الخلية البكتيرية وتحرير ما بداخلها من بكتيريوفاجات ، ولا تلبث البكتيرة أن تذوب وتنحل ويحيق بها الهلاك .

إنتشار الفيروسات وتكاثرها :

الفيريونات هى الصور الستاتيكية للفيروسات ، إذ أنها خامدة كيميائياً ، وليس لها نشاط أيضى ولا تكاثرى مباشر . ووظيفتها الوحيدة هى تحقيق انتقال الفيروس من خلية إلى أخرى أو من عائل إلى آخر ، ولا تنشأ فيريونات جديدة عن طريق نمو وانقسام فيريونات قائمة وإنما تنشأ مباشرة من تجمع وتشكل جزئيات فيروسية جديدة داخل بروتوبلازم العائل ، حيث أن الحامض النووى فى الفيروس يتفاعل مع الجهاز الإنزيمى الخاص بالعائل ،

فيؤدى ذلك التفاعل إلى تكوين جزيئات تتشكل من جديد إلى فيريونات جديدة ، أى أن الفيروس يسخر الجهاز الأيضى الخاص بالعائل فى انتاج فيروس جديد .

(شكل ١٧٥)



طريقة إصابة وتكاثر إحدى البكتيريوفاجات داخل الخلية البكتيرية : (أ) إتصال البكتيريوفاج بجدار الخلية البكتيرية ، (ب) إندفاع حمض النيوكلييك البكتيريوفاجى داخل الخلية البكتيرية وتكون بكتيريوفاجات بنوية ، ثم إنفجار جدار الخلية البكتيرية وتحرر ما بداخلها من بكتيريوفاجات .

والسمة الأساسية لانتقال الفيروس وانتشاره هى إدخال الحامض النووى الفيروسى فى خلايا عائل قابل للإصابة بذلك الفيروس (شكل ١٧٦) ويحدث هذا الإدخال بإحدى طرق أربع تختلف باختلاف نوع الفيروس . فالبكتريوفاجات تحقن حمضها النووى داخل خلية العائل مخلفة الكابسيد الفارغ خارج الجدار الخلوى للخلية البكتيرية . وفى

عائل جديدة فإن مادة ال « د ن أ » البكتيرية إما أن يستمر وجودها فى صورة بلازميدة وإما أن تندمج ضمن الكروموسوم البكتيرى . وبقدر ما هنالك من إمكانية إصابة أنواع متعددة من البكتيريا بنفس النوع من البكتيريوفاج فإن هناك أيضاً إمكانية انتقال المادة الوراثية فيما بين أنواع من البكتيريا لا تربطها ببعضها البعض أواصر قرابة وثيقة . وفى هذه الحالة الأخيرة — كما فى حالة انتقال البلازميدات عبر قنوات تزاوجية — هناك إمكانية اتساع مدى انتشار بعض الخصائص الفردية ، مثل خاصة اتساع المجال لمقاومة بعض العقاقير . إلى حدود تبعد كثيراً عن مركز وجودها الأصلى .

الأهمية الاقتصادية للفيروسات :

تستمد الفيروسات النباتية والحيوانية أهميتها من الأمراض التى تسببها . فمن أمثلة الأمراض الفيروسية التى تصيب النباتات مرض « التفاف أوراق البطاطس » (Potato leaf roll) « وتقزم الأرز » (Rice dwarf) ، « وتجعد القمة فى سكر البنجر» (Sugar beet Curly top) «وتقزم الطماطم الشجيرى » (Tomato bushy stunt) بالإضافة إلى مجموعة الأمراض المعروفة باسم « أمراض التبرقش » (Mosaic diseases) التى تصيب عدداً كبيراً من النباتات مثل الفول والخيار والبازلاء والتبغ واللفت والقمح . وقد سميت هذه المجموعة باسم أمراض التبرقش لأنها تمنع تكوين اليخضور فى مواضع من الأوراق موزعة بنظام معين — غالباً على امتداد العروق الرئيسية فى الأوراق المصابة . (شكل ١٦٥) . وينتقل العديد من الفيروسات النباتية بواسطة « نطاط الحشائش » (grasshopper) والمن وغير ذلك من أنواع الحشرات ، وتتصرف هذه الفيروسات أثناء فترة وجودها على الحشرات الناقلة ، كما لو كانت موجودة فى عوائلها النباتية تماماً ، حيث تتكاثر بداخلها (أى بداخل الحشرات) ، إما محدثة بها أضرارا ظاهرة أو دون أن تسبب لها أية أضرار . وثمة فيروسات نباتية أخرى تنتقل إلى عوائلها بوسائل ميكانيكية ، وتدخل فى جسم النبات العائل من خلال ثلمة أو خدش ، كما يمكن انتقال الفيروس أيضاً بعملية التطعيم (Grafting) .

أما الأمراض الفيروسية التي تصيب الحيوان فمن أنواعها فيروس حمى الدنج والإنفلونزا وجدري الدجاج وجدري الإنسان (Smallpox) وفيروس البرد العادي وفيروس مرض الحافر والفم الذي يصيب الماشية والحصبة والنكاف والتهاب الغدة النكفية وشلل الأطفال وداء الكلب وكوليرا الخنازير واعتلال المزاج والورم الهلامي الذي يصيب الأرانب وهناك الكثير من الالتهابات والقروح تسببها الفيروسات ، كما اتضح مؤخراً أن بعض الحالات السرطانية التي تصيب الإنسان ترجع إلى مسببات فيروسية أو شبه فيروسية . وتنتقل نسبة كبيرة من الأمراض الفيروسية الحيوانية بالملامسة ، ولكن بعضها مثل فيروس الحمى الصفراء وبعض فيروسات التهاب الدماغ (Encephalitis) تنتقل بواسطة البعوض وغيرها من الحشرات العاضة .

أما عن مدى أهمية الفيروسات في الحد من أعداء البكتيريا فذلك ما لم يتم التوصل إلى معرفته حتى الآن . وهناك الكثير من الفاجات — المعروفة باسم « الفاجات المعتدلة » (Temperate phages) . تتكيف لعوائلها البكتيرية إلى حد انتقالها من جيل إلى جيل دون أن يحدث بها أي تكشف مورفولوجي ، إلا في حالات نادرة تنضج فيها الفيروسات إلى فيريونات محددة تتحرر بموت الخلية العائلة وانفتاحها وتمزقها .

والبكتريوفاجات — مثلها كمثل بقية الفيروسات — يكون لكل منها غالباً عدة عوائل مختلفة ولكنها تكون أكثر فتكاً وضراوة في بعض العوائل ، بينما لا تسبب سوى أضرارا طفيفة لعوائل أخرى .

الرايكتسيات وعلاقتها بالبكتيريا وبالفيروسات

أول من أماط اللثام عن وجود الكائنات — المعروفة حالياً باسم « الرايكتسيات » (Rickettsiae) — هو العالم هاوارد تايلر رايكتس ، إذ لاحظ عام ١٩٠٩ وجود هذه الكائنات عندما فحص مجهرياً دم مرضى مصابين بالمرض المعروف بالحمى المنقطة للجبل الصخري ، ووجد أن هذه

الكائنات برغم أنها تبدو مظهرياً كالبكتيريا ، ولكنها أصغر حجماً منها ، ولا تستطيع النمو على منابت صناعية كالبكتيريا ، ثم تبين فيما بعد أنها بمثابة حلقة اتصال بين البكتيريا والفيروسات ، حيث تأخذ من كل من القسمين بعض الصفات (جدول ٩) .

والرايكتسيات كائنات خلوية تشبه الفيروسات من حيث دقة أحجامها وقدرة بعض أصنافها على النفاذ خلال المرشحات البكتيرية ، ولو أنها تعيش عادة داخل الخلايا الحية لعوائلها كطفيليات إجبارية ، ولكنها تشبه فى صفات أخرى البكتيريا ، حيث تظهر عند فحصها تحت المجهر الإلكترونى ما تظهره

(جدول ٩)

الصفات الرئيسية لكل من البكتيريا والفيروسات ، والصفات الوسطية بينها التى تظهرها الرايكتسيات .

المجموعة	الصفات الشكلية	الحجم (بالميكرون)	التطفل	النفاذية للمرشحات البكتيرية	مدى التعضى
البكتيريا	عصوية كروية حلزونية خيطية	(٥ر٠-٥٠)	اختيارى	لا تنفذ	خلوية محددة الجدر
الرايكتسيات	كروية عصوية كروية ثنائية سبحية	(٣ر٠-٦ر٠)	إجبارى	بعضها ينفذ والبعض لا ينفذ	خلوية محددة الجدر
الفيروسات	بللورات نيوكليو- بروتينية متباينة الأشكال	(٠١ر٠-٣ر٠)	إجبارى	تنفذ	غير خلوية

(جدول رقم ١٠)

بعض الأمراض الرايكتسية التي تصيب الإنسان ، وهي إما مسببة عن أحد أنواع جنس « رايكتسيا » الذي يرمز له بالحرف « ر » العرقي ، فيما عدا حمى كويزلاند المسببة عن أحد أنواع جنس « كوكسيللا » .

اسم المرض	المسبب	الناقل الحشري	المستودع الطبيعي	الانتقال بوساطة
تيفوس وبائي	ر. بروازكياي	قمل الجسد الإنساني	الإنسان القوارض	القمل إلى الإنسان ومن الإنسان إلى القمل
تيفوس مستوطن	ر. موسيري	براغيث الجرذان	القوارض	الجرذ ← البرغوث ← الجرذ الجرذ ← البرغوث ← الإنسان الإنسان ← البرغوث ← الإنسان
حمى كويزلاند	كوكسيللا برنتياي	القراد	القوارض الماشية	منتجات المواشي المصابة من لحوم وألبان القراد ينقل المرض بين الحيوانات
حمى الخنادق	ر. كوينتانا	قمل الجسد الإنساني	الإنسان	البراز الملوث للقمل

البكتيريا من مميزات تركيبية ، كما يحتوى سيتوبلازمها على أحماض نووية وعدة إنزيمات وتبدو ككريات أو عضيات بالغة الضآلة ، وتتكاثر بالإنفلاق الثنائى كما هو الحال فى البكتيريا ، ولكنها تفتقر إلى أعضاء حركة وإلى جرائيم ، وهى تصطبغ عادة اصطباغاً باهتاً بما هو مألوف من الأصباغ ، وجميعها سالبة لصبغة جرام .

وتسبب الرايكتسيات بعض الأمراض الخطيرة للإنسان (جدول ١٠) ومن أبرزها مرض التيفوس ، ويمكن القول بوجه عام أن الأوساط الرئيسية لتطفل الرايكتسيات هى أجساد الأنواع المختلفة من الحشرات وغيرها من مفصليات ، بل وهناك من الأدلة القوية ما يعزز افتراض أن الأنواع المتطفلة على الإنسان كان يقتصر تطفلها فى البداية على الحيوانات المفصلية دون غيرها من حيوانات ، وأن ما حدث من تطفلها الثانوى على الإنسان وغيره من ثدييات إنما هو نتيجة لما طبعت عليه هذه المفصليات المعدية من عادة امتصاص دم الحيوان والإنسان ، ومن ثم فتعمل هذه المفصليات بمثابة ناقلات للإصابات الرايكتسية من حيوان إلى حيوان ، أو من حيوان إلى إنسان ، أو من إنسان إلى إنسان

الباب السادس عشر

الطحــالب

الطحالب هى النباتات الثالوسية حقيقية النواة (فيما عدا الطحالب الخضر المزرقة) تحتوى على يخضور تستطيع بوساطته فى وجود المـاء وغاز ثانى أكسيد الكربون والطاقة الشمسية — أن تبنى احتياجاتها الغذائية من المواد الـكربوإيدراتية ، ومن ثم فتستطيع أن تعيش عيشة مستقلة . والمقصود بالنباتات الثالوسية (Thallus plants) تلك النباتات التى ليست لها جذور ولا أوراق ولا سيقان حقيقية كتلك المعروفة فى النباتات الراقية . ويتباين تركيب الثالوس (أى الجسم النباتى) باختلاف الأجناس ، ففى الأجناس البدائية يكون الثالوس وحيد الخلية ، أو يتكون من مجموعة من خلايا متشابهة منفصلة تتجمع معاً على هيئة مستعمرة ، وفى أجناس أخرى يكون الثالوس خيطاً مقسماً أو غير مقسم . بسيطاً أو متفرعاً ، أما فى الأجناس الطحلبية الراقية فتتشابك الخيوط وتلتحم لتكون تراكيب خلوية معقدة ، قد تتشابه فيها الخلايا جميعها من حيث الشكل والوظيفة أو تختلف فى أشكالها وتحوراتها باختلاف الوظائف التى تقوم بها . والخلايا الطحلبية — سواء كانت فردية أو متجمعة على هيئة خيوط أو مستعمرات أو تراكيب معقدة — ذات جدر خارجية محددة . والخلايا الخضرية (Vegetative cells) تكون غالباً — إلا فى الأجناس الطحلبية البدائية — غير متحركة ، وتقتصر الحركة على الوحدات التناسلية من جراثيم سابحة (Zoospores) أو أمشاج (Gametes) جنسية .

أما الأجناس الطحلبية البدائية وحيدة الخلية — التى تشارك الحيوان قدرته على الحركة فى الحالة الخضرية — فمنها ما تجمع بين الصفات الحيوانية والنباتية ومنها ما تقتصر على الصفات النباتية ، ومن الطراز الأول كائنات وحيدة الخلية ذات أسواط (Flagellae) تفتقر إلى جـدار خلوى كما هو الحال فى الخلية الحيوانية ، ولكنها تحتوى على بلاستيدات خضر تمكنها من القيام

بعملية التمثيل الكربونى والتغذية بطريقة نباتية ، إلا أن هناك بعضاً منها خالياً من اليخضور وتتناول مواد طعامها بطريقة حيوانية ، بل منها ما تختلف طرق تغذيتها باختلاف الظروف البيئية التى تعيش فيها ، فإن وجدت فى الظلام أصبحت عديمة اللون وتغذت بطريقة حيوانية وإن تعرضت للضوء اخضر لونها وتغذت بطريقة نباتية ، وقد أطلق على هذه الكائنات الانتقالية — التى تجمع بين الصفـــات النباتية والحيوانية — اسم سوطيات (Flagellatae) ، لأن أعضاء الحركة فيها على هيئة أسواط ، وهى تختلف عن أعضاء الحركة فى الطحـــالب الحقيقية — التى تعرف بالأهداب (Cilia) — إذ أن الأعضاء الأخيرة أقل سمكاً وطولا . وبسبب مشاركة السوطيات للحيوانات فى بعض صفاتها وللنباتات فى صفات أخرى فإن علماء الحيوان ينتحلون نسبتها إلى المملكة الحيوانية ، كما ينسبها علماء النبات إلى المملكة النباتية . وقد أجرى تقسيمها الآن إلى طوائف منفصلة ، حيث وضع علماء النبات جميع الطرز السوطية المحتوية على بلاستيدات خضر — أو التى يعوزها اليخضور ولكن تمت إلى الطرز اليخضورية منها بصلة الشكل أو غيره من مميزات — تحت طائفة خاصة من الطحالب تعرف بالطحالب اليوجلينية (Eugleno-phyceae) ، وتعـــد أكثر الطحالب بدائية لاحتفاظها ببعض الصفـــات الحيوانية ، أما فى الطحالب الحقيقية المتحركة وحيدة الخلية فيوجد اليخضور على الدوام ، وتحاط الخلية بجدار سليلوزى محدد كأية خلية نباتية .

وتوجد مادة اليخضور فى جميع الطحالب ، التى تنتشر انتشاراً واسعاً فى الأماكن الرطبة الظليلة فتكسو التربة بكساء أخضر ، كما تعيش طافية أو مثبتة فى المياه العذبة أو الملحة ، ولها قدرة على المعيشة فى مدى واسع من درجات الحرارة والملوحة ، فمنها ما يستطيع النمو على الثلوج عند قمم الجبال وفى المناطق القطبية ، ومنها ما يستطيع النمو فى الينابيع الحارة عند درجات عالية قد تبلغ ٨٩,٥° م ، وكثير من الطحالب التى تعيش فى المياه العذبة تستطيع أن تتكيف أيضها لتواجه التركيزات الملحية العالية إذا قدر لها أن تعيش فى مياه ملحية . والطحالب — ولو أنها فى الأصل نباتات مائية —

إلا أن بعض أجناسها قد استطاعت أن تتكيف للنمو فى التربة الرطبة وعلى قلف الأشجار وسطوح الصخور ، وتعيش بعضها متكافلة مع الفطريات فى الأشن (Lichens) ، كما تعيش قلة منها متطفلة على الحيوانات أو النباتات الراقية .

تقسيم الطحالب :

يتوقف تقسيم الطحالب على المميزات الآتية :

١ – ماهية الأصباغ الموجودة فى الحوامل الصبغية (Chromatophores)

٢ – نوع النواتج البنائية الفائضة التى تختزنها الخلايا .

٣ – طرز التراكيب التناسلية .

أما من حيث ماهية الأصباغ الموجودة ، فالطحالب تحتوى على ما يزيد على أربع وأربعين صبغاً مختلفاً ، إلا أن الأصباغ الرئيسية التى يتوقف عليها التقسيم هى المبينة فى (جدول ١١) . واللون الظاهرى هو نتيجة الخليط الموجود من الأصباغ الخضر والملونة حسب الطوائف المختلفة للطحالب كما يأتى :

جدول (١١)

(توزيع الأصباغ الخضر والملونة بين طوائف الطحالب)

اسم الصبغ	لون الصبغ	طوائف الطحالب الموجود فيها
يخضور (Chlorophyll) (يخضور أ ، ب ، ج ، د)	أخضر	جميع الطحالب
فايكوسيانين (Phycocyanin)	أزرق	الطحالب الخضر المزرقة والطحالب الحمر
فايكو إريثرين (Phycoerythrin)	أحمر	الطحالب الحمر والطحالب الخضر المزرقة
فيوكوزانثين (Fucoxanthin)	بنى	الطحالب البنية والطحالب الخضر المصفرة
زانثوفيل (Xanthophyll) وكاروتين (Carotene)	أصفر	جميع الطحالب

١ - **طحالب يوجلينية** (Euglenophyceaе) : وهى خضراء اللون ، وحيدة الخلية ، تتحرك بأسواط وتفتقر خليتها إلى جدار .

٢ - **طحالب خضر** (Chlorophyceae) : وهى خضراء اللون ، وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا ، وتتميز الأجناس وحيدة الخلية فيها عن مثيلاتها فى الطحالب اليوجلينية بأن أعضاء الحركة فيها أهداب وليست أسواطاً ، وبأن لها جداراً خلوياً كالخلية النباتية .

٣ - **طحالب خضر مزرقة** (Cyanophyceae) : وتعرف أيضاً بالطحالب الهلامية (Myxophyceae) أو الطحالب المنشقة (Schizophyceae) ، ولونها أخضر مزرق بسبب سيادة صبغى اليخضور والفايكوسيانين الأزرق على غيرهما من الأصباغ ، ويكون الثالوس إما وحيد الخلية أو على هيئة مستعمرة أو خيط ، والأجناس وحيدة الخلية تفتقر إلى أعضاء حركة وهى فى حالتها الخضرية .

وهذا القسم من الطحالب يتبع بدائيات النواة ، وقد سبقت دراسته مع البكتريا فى الباب السابق ولن نعود إليه مرة أخرى .

٤ - **طحالب خضر مصفرة** : وفيها يسود صبغ اليخضور إما مع الأصباغ الصفراء كالزانثوفيل والكاروتين وإما مع الصبغ البنى « الفيوكوزانثين » ومن ثم فيكون لونها الخارجى إما أخضر مصفراً أو بنياً ذهبياً . وأكثر طرزها إنتشاراً هى الدياتومات (Diatoms) ، وهى وحيدة الخلية ولها هياكل جدارية سيلكية تمتاز بجمال تصميمها وزخرفتها ، وتنتمى إلى فصيلة من الفصائل الثلاث التى تحتويها النباتات الخضراء المصفرة ، وتعرف بالطحالب العصوية (Bacilllariophyceae) .

٥ - **طحالب بنية** (Phaeophyceae) : تحتوى على صبغ الفيوكوزانثين البنى اللون الذى يضفى عليها لوناً بنياً ، وأغلبيتها متعددة الخلايا وتعيش كطحالب بحرية .

٦ - طحالب حمر (Rhodophyceae) **:** تحتوى على صبغ الفايكواريثرين الأحمر الذى يضفى عليها لوناً أحمر ، وغالبيتها متعددة الخلايا وتعيش كطحالب بحرية .

أما من حيث فائض النواتج البنائية الذى تختزنه الخلايا فيختلف باختلاف الطوائف الطحلبية ، فيكون فى الطحالب اليوجلينية على هيئة عديد تسكر (Polysaccharide) يعرف بالباراميلون (Paramylon) ، ويختلف عن النشا تمام الاختلاف من حيث خواصه الكيميائية ، أما فى الطحالب الخضر فيكون غالباً عن هيئة نشا ، يتكون عادة حول أجسام بروتينية مميزة تعرف بمراكز نشـا (Pyrenoids) ، وتشذ قلة من الطحالب الخضر - مثـل طحلب الفوشيريا (**Vaucheria**) - من حيث عـدم وجود النشاء كفائض مدخر للنواتج البنائية ، وتحل محله حبيبات زيتية . أما الطحالب الخضر المصفرة فتشابه الفوشيريا من حيث عدم وجود نشاء وحلول الحبيبات الزيتية محله كفائض مدخر للنواتج البنائية ، مما حدا ببعض العلماء إلى فصل الفوشيريا عن الطحالب الخضر ووضعها مع الطحالب الخضر المصفرة . وكذلك لا يوجد نشا على الإطلاق فى كل من الطحالب الخضر المزرقة والبنية والحمر ، ولكن توجد فى الطحالب الخضر المزرقة مادة شبيهة بالنشا الحيوانى أو الجليكوجين (Glycogen) ، تعرف أحياناً باسم نشا الطحالب الخضر المزرقة (Cysnophycean Starch) ، أما فى الطحالب البنية فيكون الفائض إما نوعاً من الكربوإيدراتات يعرف باللامينارين (Laminarin) أو حبيبات دهنية ، وفى الطحالب الحمر يكون على هيئة نوع خاص من النشا يعرف بالنشا الفلوريدى (Floridean starch) .

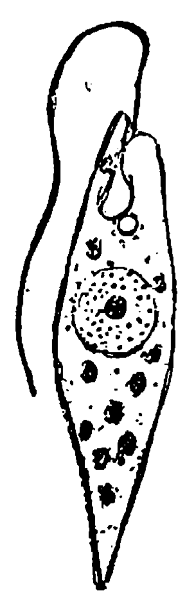
الطحالب اليوجلينية Euglenophyceae

تنتمى الطحالب اليوجلينية إلى قسم منفصل من الأقسام الرئيسية للنباتات يعرف بالنباتات اليوجلينية (Euglenophyta) ، الذى يحتوى على عدد قليل نسبياً من الكائنات وحيدة الخلية الهائمة ، يبلغ عددها حوالى ٢٥ جنساً و٣٣٥ نوعاً ، وتحتوى النباتات اليوجلينية بالإضافة إلى الطحالب اليوجلينية

على عدد من الأجناس عديمة اللون شبيهة بالحيوانات الأولية ، ولكن لا تنطوى تحت الطحالب اليوجلينية سوى الأجناس اليخضورية ، أى التى تحتوى على يخضور وتتغذى بطريقة نباتية ، وهى تعيش غالباً فى المياه العذبة وأبرز أمثلة الطحالب اليوجلينية وأوسعها انتشاراً هو جنس يوجلينا (tEuglena الذى يبلغ من وفرته فى ظروف موسمية خاصة أن يضفى على الماء الذى يعيش فيه لوناً أخضر مميزاً .

يوجلينا (Euglena)

(شكل ١٧٧)



اليوجلينا، ويرى السوط خارجا من المرىء، وتستقر النقطة العينية على مقربة من الأخير، وتتوسط الخلية نواة بها نوية ، وتنتشر البلاستيدات الخضر والأجسام الباراميلونية داخل الخلية

توجد اليوجلينا بكثرة — لاسيما أثناء الصيف — فى المياه الغنية بالمواد العضوية كالبرك والمستنقعات وحقول الأرز المشبعة بالماء . وتتكون من خلية مستطيلة إلى حد ما أو مغزلية الشكل (شكل ١٧٧) وتوجد عند طرفها الأمامى قناة طويلة ضيقة تعرف بالمرىء (Gullet) ، يخرج من قاعدته سوط واحد يتحرك الكائن بواسطته ، وتوجد عند قاعدة القناة على أحد الجوانب نقطة عينية (Eye-spot or Stigma) حمراء اللون شديدة الحساسية للضوء ، كما توجد فجوة قابضة (Contractile vacuole) تصب محتوياتها فى المرىء ، وتعد الفجوة القابضة والمرىء بمثابة جهاز إخراجى . وتتحرك اليوجلينا حركة لولبية ، ولعدم وجود جدار صلب يحيط بها فإن لبعض أنواعها القدرة على تغيير شكلها . وتوجد بالخلية نواة وبلاستيدات خضر ، وينتج عن التمثيل الكربونى حبيبات صلبة تعرف بالأجسام الباراميلونية (Paramylon bodies) يختلف عددها باختلاف الأنواع ، والباراميلون (Paramylon) مركب شبيه بالنشا إلا أنه يختلف عنه فى الخواص الكيميائية .

(ب) مستعمرة طحلبية (Algal coenobium or colony) تتكون من عدة خلايا متجمعة ، لا يوجد تقسيم عمل (Division of labour) بين مكوناتها الخلوية ، بل تقوم كل خلية بسائر وجوه النشاط الخضرى والتناسلى ، كمستعمرة الباندورينا (Pandorina) .

(ج) مستعمرة طحلبية راقية تتكون من عدة خلايا متجمعة ، تختلف فى أشكالها باختلاف الوظائف التى تقوم بها ، فمنها ما هو متخصص للوظيفة الخضرية ، ومنها ما هو متخصص للوظيفة التناسلية ، فهناك تخصص فسيولوجى (Physiological specialization) ، أو تقسيم عمل (Division of labour) بين الخلايا المكونة لها كمستعمرة الفولفوكس (Volvox) .

(د) خيط طحلبى يتكون من صف واحد من خلايا متراصة ، تحتفظ كل خلية منها بسائر وجوه نشاطها الخضرى والتناسلى ، ويتم فيها التزاوج الجنسى (Sexual conjugation) بين محتويات خلايا خضرية عادية ، وتعد هذه المحتويات بمثابة أمشاج (Gametes) خالية من الأهداب وغير متحركة ، كما فى طحلب السبيروجيرا (Spirogyra) .

(هـ) خيط طحلبى متفرع لا توجد بداخله حواجز مستعرضة ، فيبدو الثالوس وكأنه مكون من خلية واحدة مستطيلة ومتفرعة تنتثر فيها أنوية كثيرة متفرقة . والتناسل الجنسى فى هذا الطراز من الطحالب الخضر أكثر تقدماً منه فى الطرز السابقة ، حيث تتميز الأمشاج الجنسية إلى سابحات ذكرية (Spermatozoids) تنتجها الأنثريدة (Antheridium) وبيضات (Ova) تتولد داخل أوجونة (Oogonium) ، وتتميز الأنثريدة عن الأوجونة من حيث الشكل الخارجى والوظيفة ، ويعد هذا النوع من التناسل الجنسى أرقى الأنواع بين الطحالب الخضر ، كما فى طحلب فوشيريا (Vaucheria) .

وسنتحدث عن كل من هذه الأنواع بشىء من التفصيل .

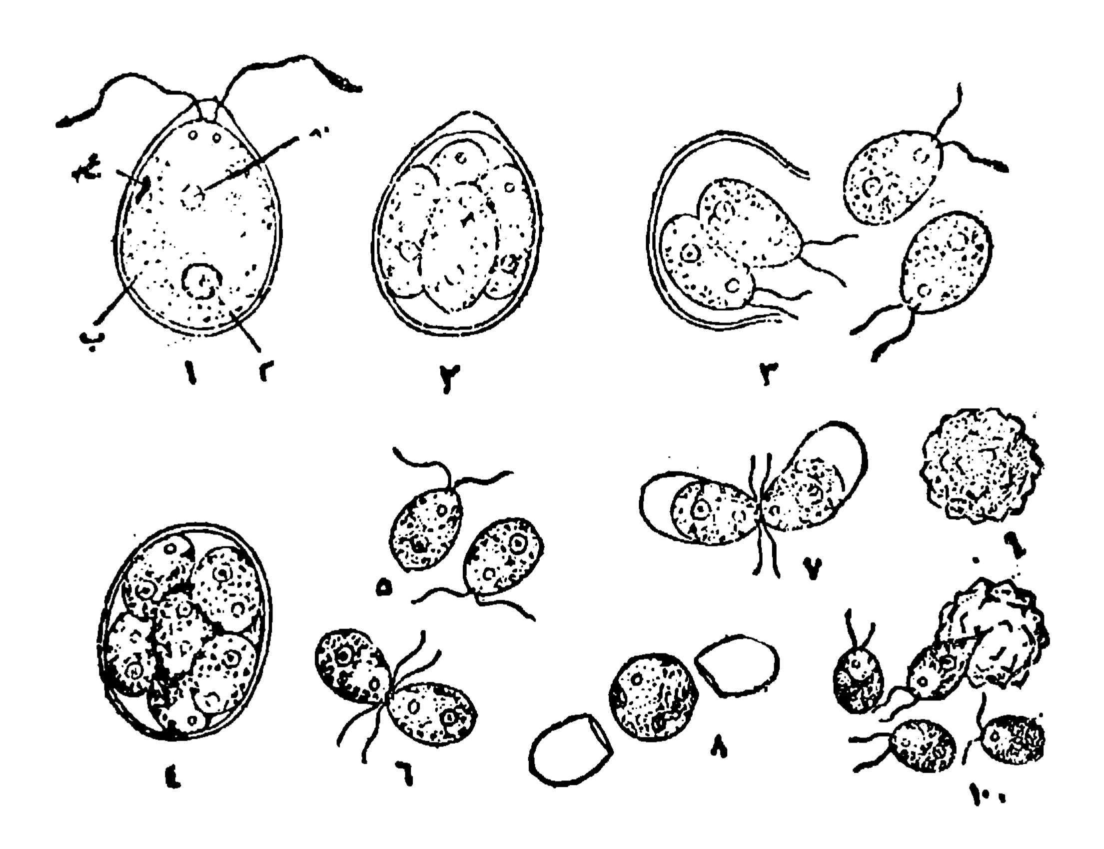
كلاميدوموناس (Chlamydomonas)

يعتبر الكلاميدوموناس من أوسع الطحالب الخضر وحيدة الخلية (Unicellular) انتشاراً ، والخلية بيضية الشكل إلى حد ما (شكل ١٧٩ : ١) طرفها الأمامى مدبب ، ويتصل به هدبان متساويان ، أما الطرف الخلفى فمستدير . ويتحرك الطحلب — فى طوره الخضرى — بوساطة الأهداب ، وتعد هذه الصفة شاذة بين النباتات .

وتتوسط الخلية نواة تتصل بجدارها بخيوط سيتوبلازمية ، وتوجد بلاستيدة خضراء على هيئة كأس كبير الحجم يشغل معظم فراغ الخلية . وهو غليظ عند القاعدة ويأخذ فى الاستدقاق كلما اتجه صوب القمة ، ويوجد عند قاعدة الكأس مركز نشا — أو مركزان فى بعض الأحيان — يتجمع حوله النشا الناتج من عملية البناء للضوئى . وتوجد عند الطرف الأمامى نقطة عينية (Stigma) شديدة الحساسية للضوء ، كما توجد فجوتان قابضتان (Contractile vacuoles) . ويتكاثر الكلاميدوموناس إما تكاثراً لا جنسياً (Asexual) أو جنسياً (Sexual) .

التناسل اللاجنسى : يتم التناسل اللاجنسى بوساطة جراثيم سابحة (Zoospores) متحركة ، وعند ابتداء هذا النوع من التناسل تأخذ حركة الخلية الخضرية فى الإبطاء ، ومن ثم تستقر فى موضعها وتفقد أهدابها وتتخذ شكلا كروياً ، وتنقسم محتوياتها الداخلية (شكل ١٧٩ : ٢ و٣) إلى قسمين أو أربعة أقسام أو أحياناً إلى ثمانية ، يمثل كل قسم وحدة تكاثرية لا جنسية . وعندما يكتمل تكوينها تظهر لها أهداب فتصبح جراثيم سابحة تشبه الأفراد البالغة تماماً من حيث المظهر العام ، وعندئذ تتلمس نقطة ضعيفة فى الجدار فتمزقها ، وتتحرر منها الواحدة تلو الأخرى ، وتنمو كل جرثومة لتعطى طحلباً جديداً .

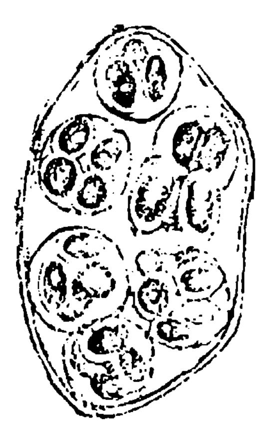
(شكل ١٧٩)



« كلاميدوموناس » يبين : (١) التركيب الخضرى للخلية وبها نواة (ن) وكأس يخضورى (ب) عند قاعدته مركز نشاء (م)، كما توجد عند الطرف الأمامى للخلية نقطة عينية (ع) وفجوتان قابضتان عند العدتين الهدبيتين، ويرى تكوين الجراثيم السابحة (٢) وتحررها فى (٣) أما الأشكال من (٤ - ١٠) فتبين خطوات التناسل الجنسى، حيث تتكون الأمشاج (٤) وتتحرر وتتزاوج لتكوين لاقحة (٥ - ٩)، ثم انقسام اللاقحة بعد فترة سكون إلى أربع جراثيم سابحة (١٠) (عن روبنز ورهكبت)

الطور البالميللى (Palmella stage) : قد يحدث تحت ظروف ما زالت إلى الآن غير معروفة تماماً أن يتحور هذا النوع من التناسل اللاجنسى، وذلك بسبب عدم قدرة الوحدات اللاجنسية الناتجة على تكوين أهداب، ومن ثم يأخذ غشاء الخلية الأصلية — كما تأخذ الأغشية المحيطة بالوحدات اللا جنسية غير المهدبة — فى التغلظ تغلظاً هلامياً، وتنقسم كل وحدة لا جنسية بدورها إلى أربع وحدات ثانوية، وهلم جرا. وتأخذ الوحدات الناتجة على التوالى فى الانقسام وتغلظ الجدران، ويعرف هذا الطور بالطور البالميللى (شكل ١٨٠)

(شكل ١٨٠)



الطور البالميلى للكلاميدوموناس مبينا تغلظ جدر الوحدات اللاجنسية تغلظا هلاميا، وعجزها عن تكوين أهداب لها ، وتوالى انقسامها .

وهو لا يستمر إلا فترة محدودة ، حتى إذا تهيأت الظروف المناسبة تكونت للوحدات الناتجة أهداب ، وتحررت الوحدات المهدبة — أو الجراثيم السابحة — بنفس الطريقة التى تتحرر بها فى التناسل اللاجنسى العادى .

التناسل الجنسى : يحـــدث التناسل الجنسى فى الكلاميدوموناس بتكوين أمشاج ، إلا أن أحجـــام الأمشاج وطريقة تكوينها تختلف باختلاف الأنواع فنى بعض الأنواع يحدث التزاوج بين أمشاج متشابهة (Isogametes) وفى أنواع أخرى بين أمشاج متباينة (Heterogametes or Anisogametes) .

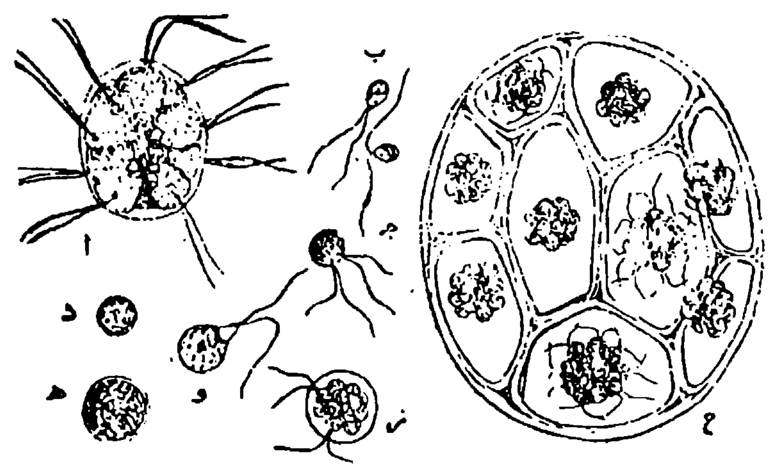
وتـــكون غالبية أنواع الكلاميدوموناس المتشابهة الأمشاج (Isogamous) ثنائية المسكن (Dioecious) ، بمعنى أن التزاوج الجنسى يحدث بين أمشاج تكونها أفراد مختلفة تتميز جنسيا ، إلا أنها تتشابه ظاهريا ، فيأخذ كل فرد فى الاستقرار ويفقد أهدابه ، وتنقسم محتوياته الداخلية إلى عدد كبير من الأمشاج (شكل ١٧٩ : ٤) ، التى تشابه الجراثيم السابحة شكلا ولكن تصغرها حجما . ويندمج كل مشيجين (من فردين مختلفين) لتكوين لاقحـــة (Zygote) . وتظل كل لاقحة رباعية الأهداب متحركة لمدة قصيرة ، ثم تفقد أهدابها وتستقر وتتخذ شكلا مستديراً وتندمج بداخلها النواتان ، وتحيط اللاقحة المستقرة نفسها بغشاء غليظ — غالباً ما يكون منضدا — وتستطيع وهى على هذا الحال أن تتحمل لمدة طويلة كل الظروف السيئة التى تتعرض لها ، وتعرف بالجرثومة اللاقحية (Zygospore) وتعد بمثابة طور مقاوم فى تاريخ حياة الكلاميدوموناس ، حتى إذا ما تهيأت الظروف المواتية لنموها نشطت وانقسمت محتوياتها إلى أربع — وفى النادر إلى ثمان — جراثيم سابحة ، لا تلبث أن تتحرر وتنمو كل واحدة منها مباشرة إلى طحلب جديد .

أما أنواع الكلاميدوموناس متباينة الأمشاج (Anisogamous) فتكون دائماً ثنائية المسكن ، إذ تتكون داخل أحد الأفراد أربعة أمشاج كبيرة (Macrogametes) وداخل فرد آخر – مميز جنسيا – ثمانية أمشاج صغيرة (Microgametes) ، ثم دورة حياتها على نفس المنوال كما فى الأنواع متشابهة الأمشاج .

باندورينـــا (Pandorina)

الباندورينا مستعمرة طحلبية مائية موجودة باستمرار فى مصر على مدار العام . وهى عبارة عن كرة مصمتة محاطة بغلاف هلامى ، وتتكون من ست عشرة خلية متشابهة (شكل ١٨١) ، كل واحدة منها شبيهة بالكلاميدوموناس والخلايا كمثرية الشكل تتجه قواعدها العريضة إلى الخارج ، وتحمل كل خلية هدبين عند طرفها العريض ، وتتحرك المستعمرة بوساطة الحركة المحصلة التى تحدثها الأهداب جميعها ، وهى حركة حلزونية فى اتجاه واحد تنشأ عن توافق حركة الأهداب جميعها . وتعد الباندورينا من المستعمرات الطحلبية البدائية من حيث ماهية تركيبها وعدم وجود تخصص فسيولوجى – أو تقسم عمل – بين الخلايا المكونة لها ، فكل خلية تعد قائمة بذاتها ، تعمل على تهيئة مواد غذائها وتتكاثر تكاثراً مستقلا ، فتجمع كل خلية بين الوظائف الخضرية والتناسلية ، وهناك طريقتان للتناسل ، إحداهما لا جنسية والأخرى جنسية .

(شكل ١٨١)



مستعمرة الباندورينا تبين التركيب الخضرى (ا) ، وطرق التناسل الجنسى (ب – ز) ، واللاجنسى (ح) بتكوين مستعمرة بنوية داخل كل خلية (عن جودوين)

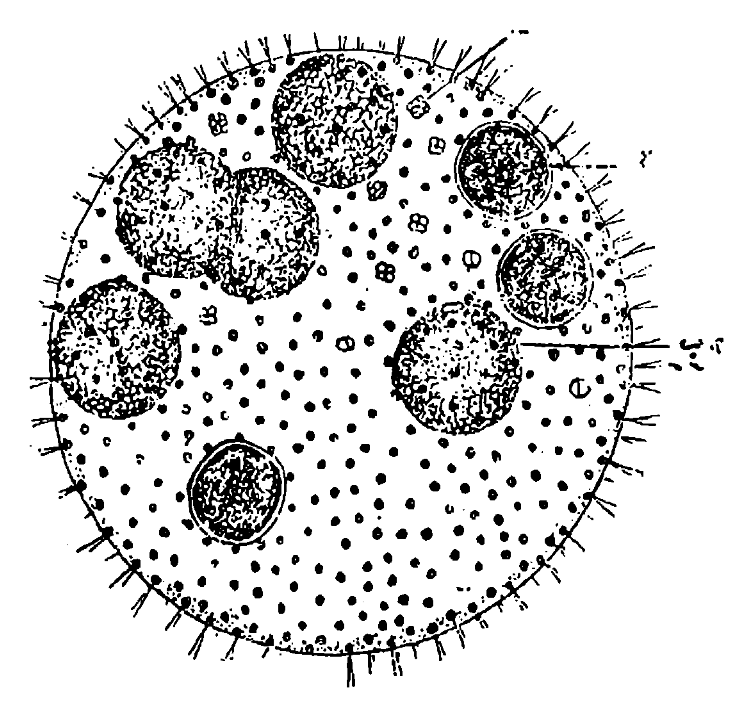
التناسل اللاجنسى : (شكل ١٨١ : ح) : يحدث التناسل اللاجنسى فى الباندورينا غالباً بانقسام محتويات كل خلية إلى وحدات لا جنسية تشبه — من حيث الشكل والعدد — الوحدات الخلوية فى المستعمرة الأصلية ، ثم تنتظم هذه الوحدات داخل كل خلية لتكوين مستعمرة بنوية (Daughter colony) ، لا يلبث حجمها أن يزداد بالتدريج حتى تسبب تمزق جدار الخلية الأصلية ، وتتحرر لتعطى بدورها مستعمرة جديدة .

التناسل الجنسى (شكل ١٨١ : ب — ز) : يحدث التناسل الجنسى هنا غالباً بتكوين أمشاج متباينة (Anisogametes) ، فتعطى بعض خلايا المستعمرة ستة عشرة مشيجاً كبيراً (Macrogametes) وتعطى خلايا أخرى اثنين وثلاثين مشيجاً صغيراً (Microgametes) ، ومن النادر أن يحدث التزاوج بين مشيجين صغيرين أو بين مشيجين كبيرين ، والغالب حدوث التزاوج بين مشيج صغير وآخر كبير ، فالتناسل الجنسى هنا من النوع المعروف باسم ، متباين الأمشاج » (Anisogamous) . وبعد الإخصاب تفقد اللاقحة أهدابها وتستقر ساكنة لفترة ما ، ثم تأخذ فى الإنبات لتعطى جرثومة سابحة ثنائية الأهداب ، وتظل الجرثومة الأخيرة سابحة بعض الوقت ثم تستقر وتفرز حولها غشاء هلاميا ، وتأخذ محتوياتها فى الانقسام إلى عدد من الوحدات يساوى عدد خلايا المستعمرة الأصلية ، وتنتظم الوحدات الناتجة بنفس ترتيب المستعمرة الأصلية لتعطى مستعمرة بنوية .

فولفوكس (Volvox)

تتكون مستعمرة الفولفوكس من عدد ضخم من الخلايا ، قد يصل فى بعض الأحيان إلى حوالى ٢٥٠٠٠ خلية ، وتصل إلى حجم رأس الدبوس . وهى تنتظم على هيئة كرة خضراء مجوفة ، من خلايا محيطية مغطاة بغلاف هلامى ، وتتصل الخلايا المحيطية ببعضها البعض بخيوط بروتوبلازمية (شكلا ١٨٢ ، ١٨٣) . والخلايا الفردية المكونة لمستعمرة الفولفوكس ليست شبيهة بالكلاميدوموناس — كما هو الحال فى مستعمرة الباندورينا — بل تشبه طحلبا

(شكل ١٨٢)



مستعمرة الفولفوكس تبين الخلايا الجسدية ممثلة بدوائر صغيرة ، والأنثريدة (ن) عند تكوينها ، والمستعمرة البنوية (م . ب) ، واللاقحة الصغيرة (ح) الناتجة عن (عن جودوين)

آخر وحيد الخلية يعرف باسم « سفيريلا » (Sphaerella) ، وهو يختلف عن الكلاميدوموناس فى كون جدار الخلية مغلظاً تغلظاً هلامياً كبيرا ، وفى كون كل خلية تحتوى على عدة مراكز نشا وفجوات قابضة . وتتميز خلايا الفولفوكس إلى أربعة أنواع ، يقوم كل نوع منها بأداء وظيفة فسيولوجية خاصة ، فظاهرة تقسيم العمل — أو التخصص الفسيولوجى — تبلغ هنا أقصى مراتب التطور بين المستعمرات الطحلبية ، والأنواع الأربعة من الخلايا المتخصصة فسيولوجيا هى :

١ — **خلايا جسدية** (Somatic cells) : وتشمل أغلبية الخلايا المكونة لجسم المستعمرة الطحلبية ، وهى تقوم بالوظيفة الخضرية من حركة وتغذية وتنفس وتمثيل .

٢ — **جونيدات** (Gonidia) : وهى خلايا قليلة العدد ، وتتميز منذ بدء

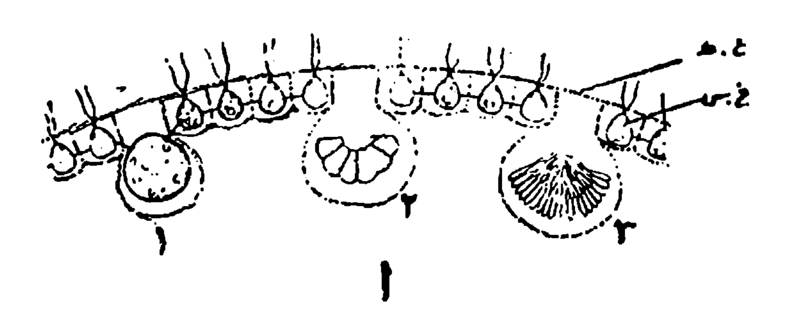
تكوين المستعمرة بكبر أحجامها نسبياً. وتتخصص فسيولوجياً لإنتاج مستعمرات بنوية ، فهى خلايا متخصصة للقيام بالتناسل اللاجنسى .

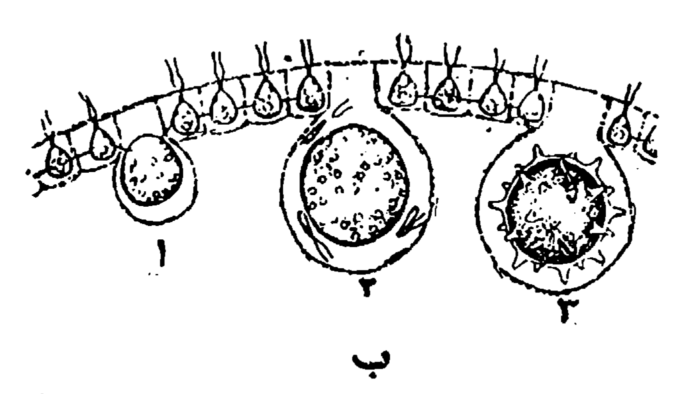
٣ – أنثريدات (Antheridia) : هى خلايا متخصصة فسيولوجياً لإنتاج السابحات الذكرية (Spermatozoids) .

٤ – أوجونات (Oogonia) : هى خلايا تتخصص فسيولوجياً لإنتاج أمشاج أنثوية خالية من الأهداب تعرف بالبيضات (Ova) .

التناسل اللاجنسى (شكل ١٨٢) : لا تستطيع كل خلية فى مستعمرة الفولفوكس – كما هو الحال فى الباندورينا – أن تكون مستعمرة بنوية . ولكن تقتصر هذه القدرة على خلايا متخصصة قليلة العدد تعرف بالجونيدات ،

(شكل ١٨٣)





قطاع فى جزء من محيط مستعمرة الفولفوكس يبين : (أ) الخطوات التدريجية (١–٣) لتكوين الأنثريدة من خلية جنسية ، وفى (٣) ترى كتلة من السابحات الذكرية داخل الأنثريدة ويرى أيضاً الغلاف الهلامى (غ . هـ) المستعمرة ، والخلايا الجسدية (خ . س) . (ب) الأوجونة فى (١) محتوية على بيضة واحدة ، وترى الأخيرة فى (٢) وقد أحاطت بها السابحات الذكرية ، وفى (٣) تم الإخصاب وتكونت اللاقحة (عن سميث وآخرين)

لا يزيد عددها عادة على ٢٥ خلية من مجموع خلايا المستعمرة الطحلبية . وتتميز هذه الخلايا منذ ابتداء تكوين المستعمرة بكبر أحجامها بالنسبة للخلايا الجسدية ، وتنقسم المحتويات الداخلية لكل جونيدة (Gonidium) إلى عدد كبير من الخلايا ، تنتظم بداخل الخلية على نفس المنوال الذى انتظمت به المستعمرة الوالدة من قبل لتكوين مستعمرة بنوية ، وتأخذ الجونيدة فى الازدياد فى الحجم بازدياد نمو المستعمرة البنوية ، ولا تلبث الأخيرة أن تتحرر بتمزق جدار الخلية الجونيدية وتتخذ طريقها داخل تجويف المستعمرة الوالدة . وقد تصل إلى حجم كبير قبل أن تستطيع التحرر إلى خارج التجويف . ولا يحدث ذلك إلا بعد موت المستعمرة الوالدة . ومما يلاحظ فى بعض الأحيان أن المستعمرات البنوية قد تتميز بها مستعمرات ثانوية لجيل ثالث وهى ما زالت محصورة بداخل تجويف المستعمرات الوالدة .

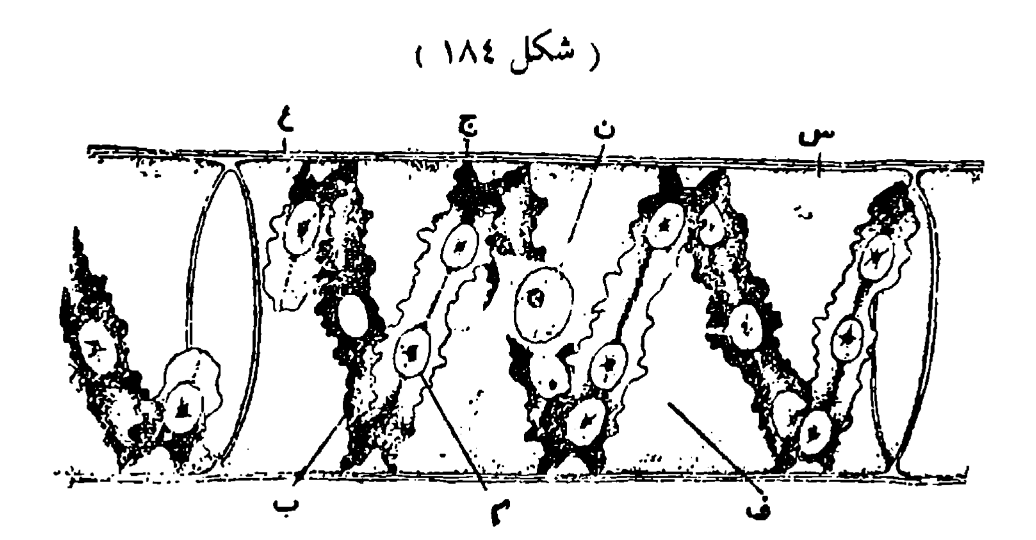
التناسل الجنسى (شكل ١٨٣ : أ ، ب) : تكون المستعمرة وحيدة المسكن (Monoecious) — أى تحتوى على الأنثريدات والأوجونات معاً — فى بعض أنواع الفولفوكس ، وفى أنواع أخرى تكون ثنائية المسكن (Dioecious) تتميز فيها مستعمرات ذكرية بها أنثريدات وأخرى أنثوية تحتوى على أوجونات ، وتنقسم المحتويات الداخلية لكل أنثريدة إلى عدة سابحات ذكرية ثنائية الأهداب تنتظم على هيئة كتل كروية أو صفائح رقاق (شكل ١٨٣ : أ — ٣) أما الأوجونة فلا تحتوى سوى بيضة واحدة ، وتتخذ السابحة الذكرية طريقها صوب البيضة فتلقحها ، وتنمو اللاقحة — تحت ظروف النمو الملائمة — لتعطى مستعمرة جديدة .

سبيروجيرا (Spirogyra)

تعد السبيروجيرا من أوسع الطحالب الخضر انتشاراً وكثرة فى الريم الأخضر الذى يوجد عادة فى المياه العذبة ، ويكون فيها الخيط مقسما وغير متفرع . وتعد السبيروجيرا من الطحالب الخيطية البدائية ، إذ يتكون الخيط من صف واحد من خلايا تتشابه جميعها من حيث التركيب والوظيفة ، فليس

هناك تقسيم عمل أو تخصص فسيولوجي بين الخلايا المكونة للخيط . ويغلف كل خلية جدار تبطنه من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم المحيطي توجد به بلاستيدة خضراء أو أكثر – حسب الأنواع – والبلاستيدة كبيرة تمتد حلزونياً بامتداد طول الخلية (شكل ١٨٤) ، وحوافي البلاستيدة الخضراء متموجة . وتنتشر بداخلها مراكز النشا (Pyrenoids) ، أما بقية الخلية فتشغلها فجوة كبيرة ، تتوسطها نواة تتصل بالسيتوبلازم المحيطي بحزم سيتوبلازمية (Cytoplasmic strands)

(شكل ١٨٤)



جزء من خيط طحلب السبيروجيرا يبين النواة (ن) والبلاستيدة الخضراء (س) تنتشر فيها مراكز النشا (م) ، وجدار الخلية (ج) بخارجه غشاء هلامي (ع) رقيق . ويرى السيتوبلازم (ب) يحيط بفجوة (ف) داخلية . ونلاحظ أيضا الجدر المستعرضة الفاصلة بين الخلايا المتجاورة

. **التزاوج** (Conjugation) : يحدث التزاوج بين المحتويات البروتوبلازمية لخليتين خضريتين (شكل ١٨٥) ، فتعمل كل خلية خضرية كحافظة مشيجية (Gametangium) ، إذ تنكمش محتوياتها البروتوبلازمية لتكوين مشيج واحد غير مهدب يتحرك بحركة أميبية بطيئة . ويحدث التزاوج إما بين خليتين متقابلتين لخيطين متميزين ، ويعرف بالتزاوج السلمي (Scalariform conjugation) وإما بين خليتين متجاورتين من نفس الخيط ويعرف بالتزاوج الجانبي (Lateral Conjugation) ، وفي كلا النوعين تتكون اللاقحة إما في إحدى

الخليتين المتزاوجتين ، وإما بداخل القناة التزاوجية (Conjugation canal) الناتجة عن التحام الأنبوبتين التزاوجيتين (Conjugation tubes) ، وذلك بإحدى الطرق الأربع الآتية :

١ — فى التزاوج السلمى ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان فى خيطين يتميزان فسيولوجياً ، انتقل المشيج من الخيط الذكرى إلى الخيط الأنثوى . وتكونت اللاقحة داخل خلية الخيط الأنثوى .

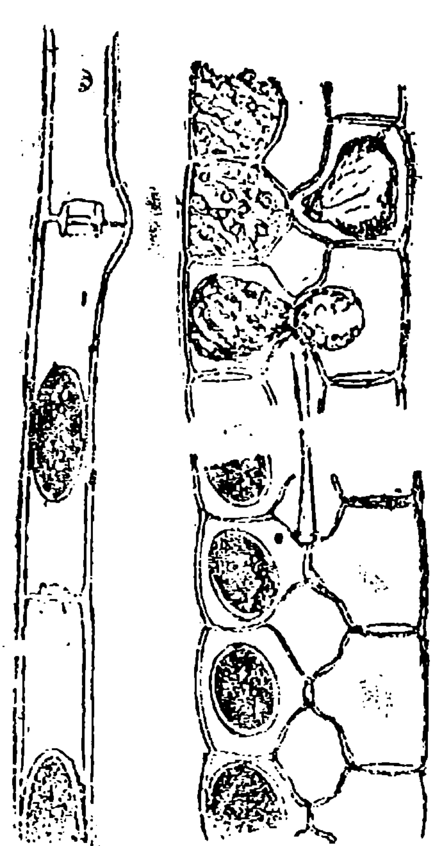
٢ — فى التزاوج السلمى ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان من خيطين متشابهين فسيولوجياً . التقى المشيجان وتكونت اللاقحة فى القناة التزاوجية الناتجة عن اتحاد الأنبوبتين التزاوجيتين.

٣ — فى التزاوج الجانبى ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان المتجاورتان متميزتين فسيولوجياً ، انتقل المشيج من الخلية الذكرية إلى الخلية الأنثوية ، وتكونت اللاقحة فى الخلية الأخيرة .

٤ — فى التزاوج الجانبى ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان المتجاورتان متشابهتين فسيولوجياً . تكونت اللاقحة فى القناة التزاوجية بين الخليتين .

وفى جميع الحالات تعطى كل خلية متزاوجة أنبوبة ، تعرف باسم الأنبوبة التزاوجية ، وتستمر الأنبوبتان المتكونتان من الخليتين المتزاوجتين فى

(شكل ١٨٥)

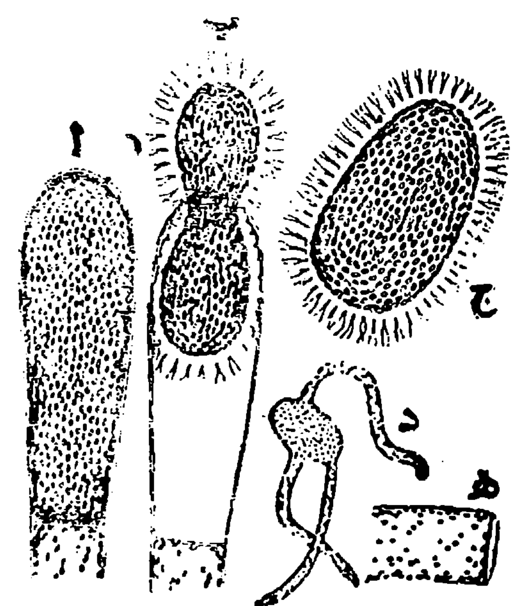


التزاوج الجنسى فى طحلب الاسبيروجيرا ، بين إلى اليمين تزاوجاً سلمياً وإلى اليسار تزاوجاً جانبياً ، وفى التزاوج السلمى يرى فى أعلى انتقال الأمشاج من الخيط الذكرى إلى الأنثوى ، وفى أسفل ترى اللاقحات داخل خلايا الخيط الأخير .

التقدم إحداهما نحو الأخرى حتى تتلاقيا، وتختفى ما بينهما من جدر لتكونا قناة تزاوجية . وينتقل المشيجان بحركة أميبية ، وتندمج محتوياتهما البروتوبلازمية إما فى القناة التزاوجية — إذا كانت الخليتان المتزاوجتان متشابهتين فسيولوجياً — وإما فى الخلية الأنثوية عند التباين الفسيولوجى . أما الاندماج بين نواتى المشيجين فلا يحدث إلا فى مرحلة متأخرة من الإخصاب ، وهناك من الأدلة ما تعزز أن البلاستيدات الخضر للمشيج الذكرى لا تلبث أن يصيبها الانحلال ، بينما تستمر فى اللاقحة تلك المستمدة من المشيج الأنثوى ، وتمر اللاقحة بفترة سكون ، ثم تحيط نفسها بجدار سميك ، وتعرف حينئذ بالجرثومة اللاقحية (Zygospore) . ولا تلبث النواة المندمجة للجرثومة اللاقحية أن تنقسم مرتين — أولاهما انقسام اختزالى — لتعطى أربع أنوية ، تنحل ثلاث منها ، بينما تستمر الرابعة لتكوين نواة الجرثومة الملقحة ، التى تنبت مباشرة لتعطى طحلباً جديداً .

وبجانب التناسل الجنسى ، تستطيع السبيروجيرا — كأغلبية الطحالب الخضر الخيطية — أن تتكاثر خضرياً ، وذلك بانفصال الخيط إلى عدة أجزاء ، يستطيع كل جزء منها أن ينمو مباشرة إلى طحلب جديد .

(شكل ١٨٦)



• فوشيريا • تبين كيفية تكوين الحافظة الجرثومية والجرثومة السابحة عديدة الأهداب وتحررها (ا — ج) ، وترى الجرثومة بعد الإنبات (د) ، وجزء مكبر من أنبوبة الإنبات (هـ) (عن سميث)

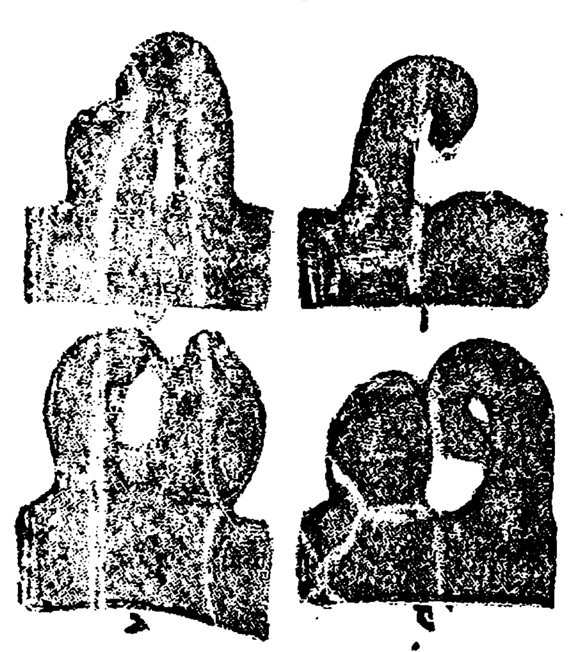
فوشيريا (Vaucheria)

توجد الفوشيريا بكثرة فى المياه العذبة ، كما تنمو فى التربة الظليلة الرطبة وتعيش بعض أنواعها فى المياه المالحة . ويتكون ثالوسها من خيوط متفرعة ومتشابكة ، تنتظم مع بعضها البعض مكونة ما يشبه الحصيرة ، ولا توجد جدر مستعرضة فاصلة داخل خيوطها بل تنتشر الأنوية والبلاستيدات الخضر بداخلها ،

ولا تختزن المواد الزائدة الناتجة عن عملية البناء الضوئى كنشا ـ كما فى غيرها من الطحالب الخضر ـ بل على هيئة حبيبات زيتية، وكذلك لا توجد بها مراكز نشوية. وتتناسل الفوشيريا لاجنسياً (شكل ١٨٦) وجنسياً (شكل ١٨٧).

التناسل اللاجنسى : عند ابتداء التناسل اللاجنسى يأخذ طرف أحد الفروع فى الانتفاخ ويمتلىء بالسيتوبلازم والبلاستيدات الخضر (شكل ١٨٦ : أ)، وينفصل الطرف المنتفخ عن بقية الخيط بوساطة جدار مستعرض ومن ثم تتكون حافظة جراثيم سابحة (Zoosporangium) طرفيه، تتخذ أنويتها وضعاً محيطياً، ويتكون هدبان مقابل كل نواة محيطية. ولا تلبث الجرثومة السابحة (Zoospore) المركبة عديدة الأهداب أن تتحرر إلى الخارج خلال فتحة طرفية تحدثها فى حافظة الجراثيم السابحة (شكل ١٨٦ : ب) وتظل الجرثومة السابحة بعد تحررها (شكل ١٨٦ : ج) متحركة لفترة ما ثم تفقد أهدابها وتأخذ فى الاستقرار. وتعطى الجرثومة السابحة عند الإنبات أنبوبتين تتصل إحداهما بطبقة تحتية فترتبط بها وتتشبث وذلك بتكوين ماسك (Holdfast)، أما الأخرى فتستمر فى الإنبات إلى طحلب جديد.

(شكل ١٨٧)



التركيب الخضرى والتناسل الجنسى لطحلب الفوشيريا، وترى الخطوات المتتالية (أ ـ د) فى تكوين الأنثريدة والأوجونة، وفى (د) تم الانفجار وأفرغت الأنثريدة ـ التى ترى إلى اليمين ـ محتوياتها من السابحات الذكرية، أما الأوجونة ـ التى ترى إلى اليسار ـ فتتميز فيها البقعة المستقبلة للسابحات الذكرية (عن سميث).

التناسل الجنسى : تنشأ الأوجونة كبروز جانبى

(شكل ١٨٧ : أ) ، لا يلبث أن يتخذ شكلا كروياً (شكل ١٨٧ : ب) ، وتتميز محتوياته على هيئة بيضة واحدة وحيدة النواة وغنيـة بالمواد الغذائية. أما الأنثريدة فتنشأ بجوارها كأنبوبة اسطوانيـة مقوسة ، تنفصل بجـدار مستعرض عن بقية الخيط (شكل ١٨٧ : ج) وتنتج الأنثريـدة عـدداً كبيراً من السابحات الذكرية كمثريـة الشكل ثنائية الأهداب ، وفيها تنتظم الأهداب جانبياً ، وتخصب البيضة سابحة ذكرية واحدة ، وتنمو اللاقحة لتكون طحلباً جديداً .

الطحالب العصوية (Bacillariophyceae)

تنتمى الطحـالب العصوية أو الدياتومات (Diatoms) إلى مجموعة الطحالب المصفرة،وهى مجموعة من الطحالب تحتوى على عدة فصائل طحلبية وتتميز بسيادة الصبغ البنى والأصباغ الصفراء مع اليخضور ، وأبرز فصائل الطحالب الخضر المصفرة هى فصيلة الدياتومات التى تحتوى على أكثر من خمسة آلاف نوع من نباتات وحيدة الخلية ، توجد غالباً فى المياه العذبة والملحة والتربة الرطبة وهى تعيش إما طافية أو عالقة بغيرها من طحالب خيطية أو نباتات أخرى ، وتعد طعاماً هاماً وسائغاً للأسماك . ومع أن غالبية الدياتومات توجد كخلايا منفردة ، إلا أن بعضها يكون مستعمرات تتخذ شتى الأشكال ، وتتكون المستعمرة الدياتومية نتيجة لتماسك عدة خلايا داخل غشاء هلامى مشترك ، وتكون عادة رواسب هلامية بنية اللون على الطمى أو الأحجار أو القواقع أو النباتات المائية .

وتتميز الدياتومات عما عداها من الطحالب من حيث انتظام جدرها الخلوية وتركيبها من مواد سيليكية ، إذ يتكون جدار الخلية من صمامين (Valves) يتراكبان معـاً بحيث يعلو أحدهما الآخر كما يعلو الصندوق غطاؤه (شكل ١٨٨) ويسمى الصمام المتراكب خارجياً بالغمـد الفوقى

(Epitheca) والصمام المتراكب بداخله بالغمد التحتى (Hypotheca) ، ويسمى المكان الذى يلتقى فيه الصمامان بالحزام (Girdle) . ويتركب جدار الخلية غالباً من مادة البكتين المشبعة بكميات كبيرة من السيليكا . وتمتد فيه عدة خطوط دقيقة عرضية تضفى عليه أشكالا منتظمة ومعقدة ، مما يجعل الدياتومات من أبرز وأجمل المرئيات المجهرية . ويمكن رؤية الخلية الدياتومية من وجهين ، وجه جانبى أو حزامى (Side or girdle view) ووجه أمامى أو صمامى (Fronte or valve view) ، وتختلف الدياتومات مظهرياً باختلاف أشكال الصمامات المكونة لها فى بعضها يكون الصمام مستديراً أو بيضيا ، وفى بعضها يكون مستطيلا أو مثلث الزوايا أو عديدها . وتتميز الدياتومات المستطيلة غالباً بوجود رفاية (Raphe) على هيئة شق طولى يمتد وسط الصمام وتنتظم عليه عقد قطبية (Polar nodules) وعقدة مركزية (Central nodule) كما هو مبين بالشكل وتستطيع مثل هذه الدياتومات أن تتحرك ، وتتم الحركة بوساطة الانسياب البرتوبلازمى للخلية خلال الرفاية بطريقة مشابهة للطريقة التى تتم بها الحركة الأميبية .

(شكل ١٨٨)

ع.ق

ع.م

ر

ع.ق

ب أ

الدياتوم أو الطحلب الصوى كما يرى فى منظار صمامى (أ) وفى منظر جانبى (ب) ، ويبين المنظار الصمامى . الرفاية (ر) والعقد المركزية (ع م) والعقد القطبية (ع ق) .

وتستقر النواة فى غالبية الدياتومات وسط الخلية معلقة ومتصلة بالسيتوبلازم المحيطى — المجاور لجدار الخلية — بقنطرة سيتوبلازمية ، ويكون السيتوبلازم المحيطى رقيقاً ويحتوى على حامل صبغى أو أكثر ، وغالباً

ما تكون الحوامل بنية اللون أو صفراء ، ونادراً ما تكون خضراء ، ولا تحتوى الخلية الدياتومية على نشا ولكن تدخر المواد الغذائية غالباً على هيئة زيوت .

وتتكاثر الدياتومات أساساً بوساطة الانشقاق (Fission) ، إذ تنقسم الخلية — فى مستوى عمودى على الصمامين — فينفصل الصمامان ، وينقسم بروتوبلازم كل خلية (شكل ١٨٩) ، ويكون كل بروتوبلازم ناتج صماماً جديداً يكسو جانبه العارى ويتراكب مع الصمام القديم ، ويستقر الصمام الجديد دائماً داخل الصمام القديم ، سواء أكان الأخير غمداً فوقياً أو تحتياً فى الخلية الأصلية ؛ وبذلك فإن إحدى الخليتين الناتجتين تشابه الخلية الأبوية فى الحجم ، أما الخلية الأخرى فتكون أصغر منها حجماً ، وكلما توالى الانقسام

(شكل ١٨٩)

مهد فوقى
حزام
مهد تحتى
بلاستيدة
نواة
(ا)
(ب)

الانشقاق فى خلية دياتومية ، وترى الخلية فى (ا) من الوجه الحزامى وفى (ب) وقد انقسمت الى خليتين (عن ...) .

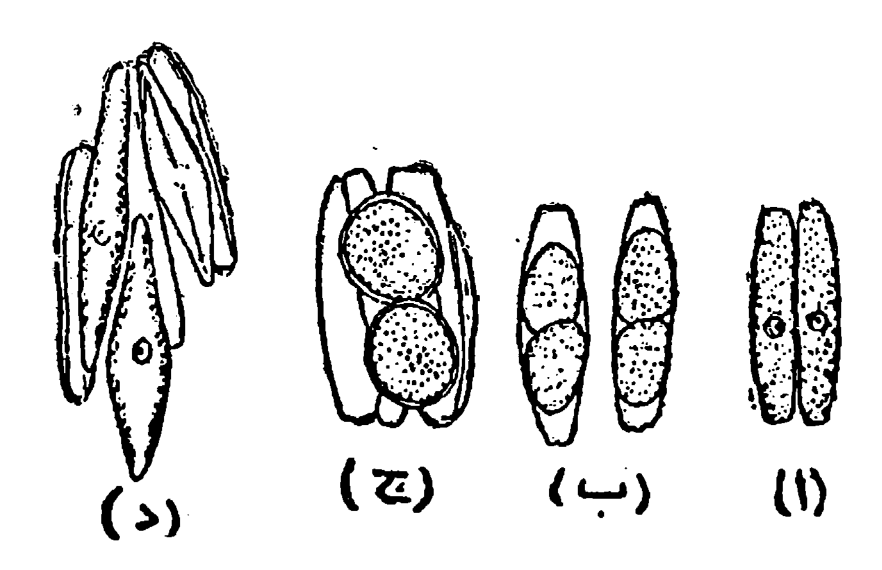
قلت بالتدريج أحجام الأفراد الناتجة ، بحيث تصل فى النهاية الى أقل حجم يمكن أن يصل إليه النوع . وهنا يأخذ الدياتوم فى استرداد حجمه الأصلى بتكوين جراثيم نامية (Auxospores) . أما التناسل الجنسى (Sexual reproduction) فى الدياتومات فيتم بإحدى طريقتين :

(أ) تزاوج بين خليتين دياتوميتين لتكوين جرثومة نامية (Auxospore) تنبت مباشرة لتعطى فرداً جديداً .

(ب) تزاوج بين أمشاج — متشابهة أو متباينة — ناتجة على انقسام خليتين دياتوميتين مختلفتين .

وفى الطريقة الثانية من التزاوج (شكل ١٩٠) ، تقترب خليتان ويحيط بهما غلاف هلامى مشترك ، ثم ينقسم بروتوبلازم كل خلية إلى مشيجين يكونان متشابهين فى بعض الدياتومات ومختلفين فى دياتومات أخرى ، ثم تتحرر الأمشاج من خلاياها وتأخذ فى التزاوج ، ولا يحدث التزاوج إلا بين مشيجين من خليتين دياتوميتين مختلفتين ، وتستطيل كل لاقحة — من اللاقحتين الناتجتين — لتكون جرثومة نامية (Auxospore) كبيرة الحجم ، لا تلبث أن تكون لها صمامين وتتميز مباشرة إلى دياتوم جديد .

(شكل ١٩٠)



المراحل المختلفة فى التزاوج بين خليتين دياتوميتين ، حيث تقتربان فى (ا) ، وتنقسم كل خلية إلى مشيجين فى (ب) ، ويتزاوج كل مشيجين فى من فردين مختلفين فى (ج) لتكوين لاقحتين ، ثم انبات كل لاقحة إلى جرثومة نامية فى (د) (عن بولد) .

وتعد الدياتومات من أقدم النباتات المعروفة ، ومما يدل على أنها كانت واسعة الانتشار فى العصور الجيولوجية القديمة ما وجد من شدة تراكم التربة الدياتومية (Diatomaceous earth) فى نواحى متعددة ومتفرقة من العـــالم وهذه التربة تتكون من توالى ترسيب الجدر السيليكية الناتجة من تراكم جدر الخلايا الدياتومية الميتة . والتربة السيليكية النقية هى مسحوق مركب من جدر وأجزاء الدياتومات ، بعد تنقيتها بالغليان مع حمض الأيدروكلوريك المخفف

وغسلها وتكليسها ، وتستغل هذه التربة الدياتومية فى كثير من الصناعات كصناعة الديناميت لامتصاص النيتروجلسرين ، كما تستعمل فى ترشيح السوائل وكمادة عازلة للحرارة فى القزانات وأفران الاحتراق ، وكمادة صاقلة للمعادن ومالئة لمعاجين الأسنان وفى صناعة مساحيق الوجه والصابون والطلاء .

الطحالب البنية

يتباين الثالوس فى الطحالب البنية من خيوط بسيطة أو متفرعة إلى تراكيب خلوية تتميز داخلياً إلى أنسجة . وتكون كل خلية وحيدة النواة

(شكل ١٩١)



ثالوس الطحلب البنى « فيوكاس » ، الذى يتفرع تفرعا ثنائى الشعب وتنتفخ أطرافه حيث تستقر الحوافظ الجنسية (من هوبث) .

وتحتوى على حاملات أصباغ (Chromatophores) بنية بجانب البلاستيدات الخضر . وتشمل الطحالب البنية رتباً كثيرة ، إلا أن الثالوس يصل إلى درجة كبيرة من التعقيد في رتبة الفيوكات (Fucales) ، التي ينتمي إليها جنس فيوكاس (Fucus) والسرجاسام (Sargassum) . ويعد الفيوكاس (شكل ١٩١) من أوسع الطحالب البنية انتشاراً ، ويوجد على السواحل الصخرية البحار ، خصوصاً فى المناطق الباردة . ويعرف باسم عشب البحر أو صوف صخور البحر أو عشب الصخور ، لأنه ينمو على الصخور ، ويكثر وجوده على شاطىء المحيط الأطلنطى . ويكون الثالوس منبسطاً ويتفرع تفرعاً ثنائى الشعب ، وينمو بوساطة خلية طرفية توجد عند قاعدة تجويف قمى . أما السرجاسام (شكل ١٩٢) فيشتق اسمه من اسم بحر سرجاسو الموجود فى المحيط الأطلسى ، إذ يوجد فيه بكثافة كبيرة تعطل الملاحة فى هذا البحر وفى هذا الطحلب لا يقتصر تميز الأجزاء على داخل الثالوس — كما هو الحال فى الفيوكاس — بل يتشكل الثالوس أيضاً خارجياً إلى تراكيب شبيهة بالفروع الجانبية ، وتحتوى التراكيب الأخيرة على الحوافظ الجنسية (Conceptacles) .

(شكل ١٩٢)



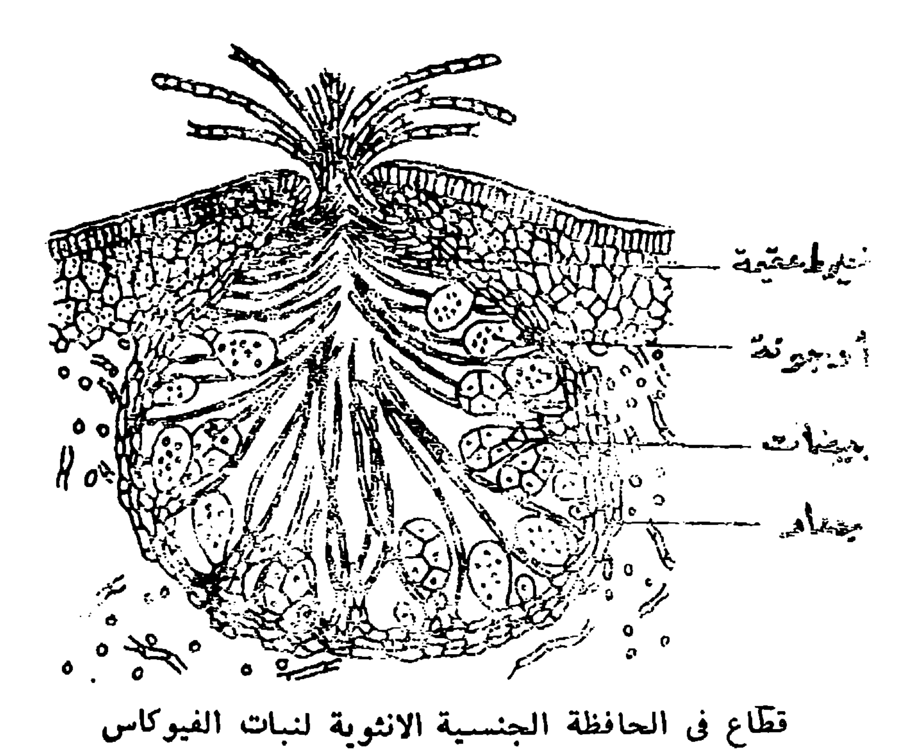
جزء من ثالوس الطحلب البنى (سرجاسام) يبين التشكل الظاهرى للثالوس إلى تراكيب شبيهة بالفروع الجانبية وأخرى شبيهة بالأوراق (عن هوبث)

ويتميز الثالوس داخلياً — فى كل من الفيوكاس والسرجاسام — إلى الأنسجة الآتية (شكلا ١٩٣ و ١٩٤) :

١— نسيج تمثيلى (Assimilating tissue) خارجى ، تكون خلاياه غنية بالبلاستيدات الخضر .

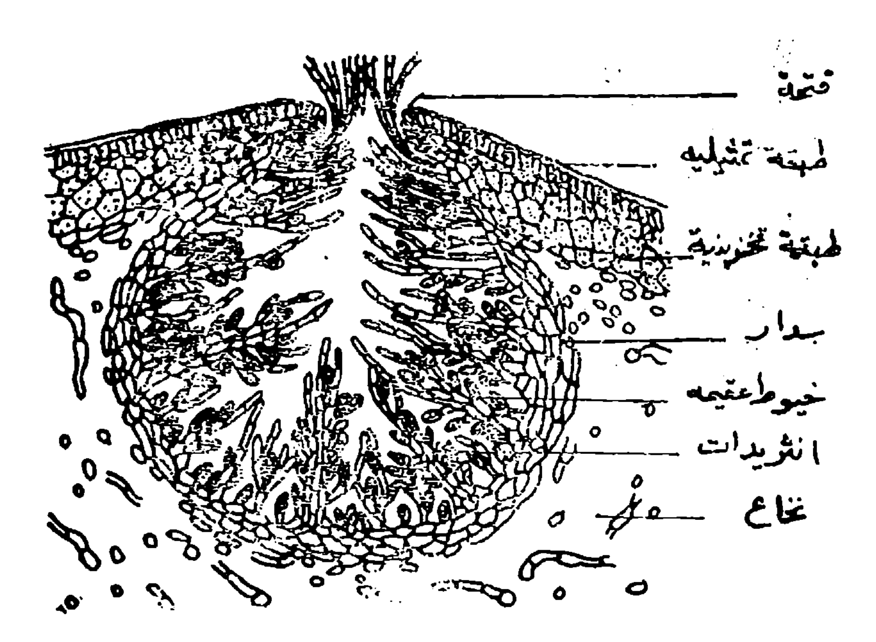
٢ — نسيج تخزينى (Storage tissue) تتميز خلاياه بوفرة المواد الغذائية المدخرة على هيئة أجسام شديدة اللمعان .

(شكل ١٩٣)



قطاع فى الحافظة الجنسية الانثوية لنبات الفيوكاس

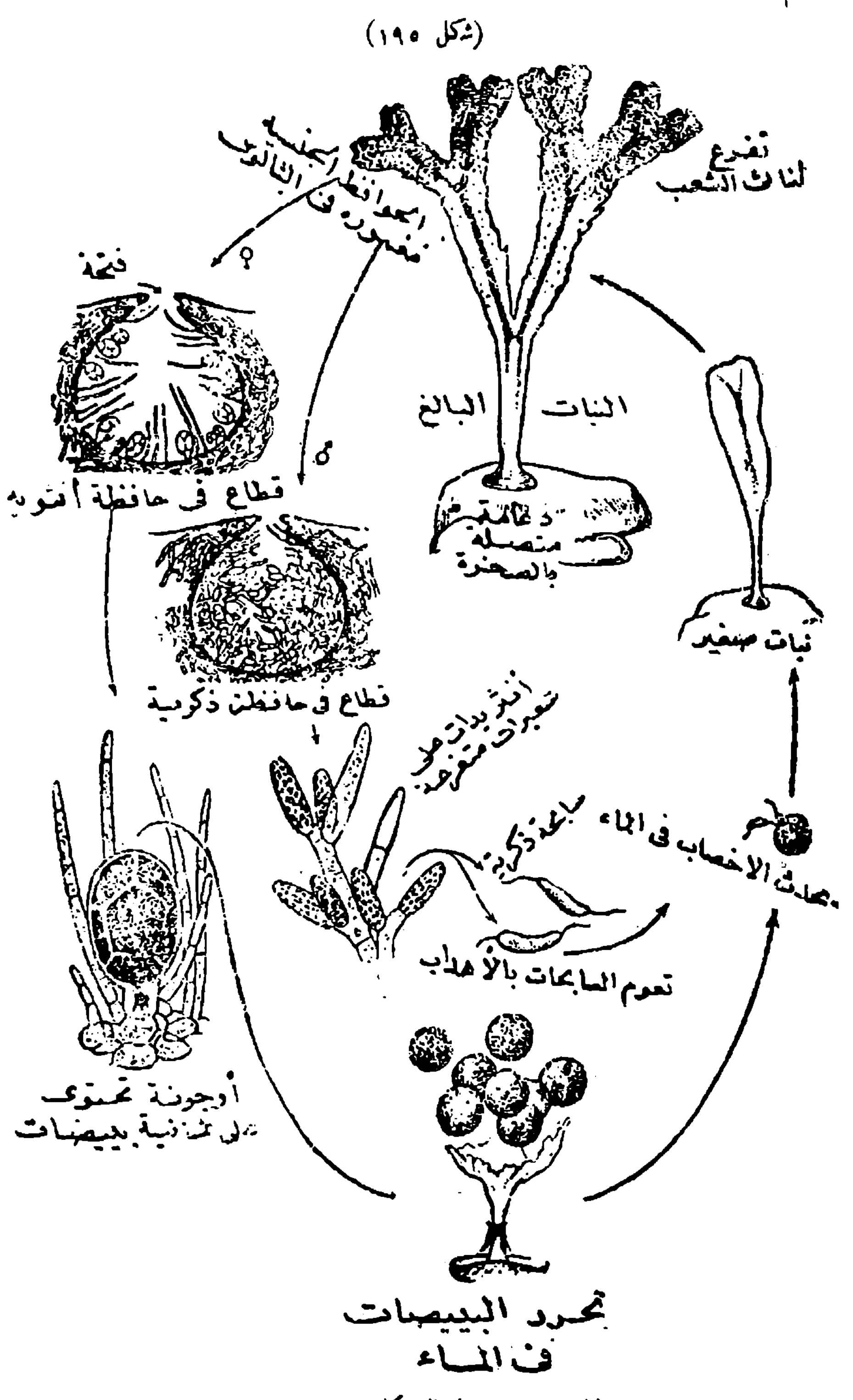
(شكل ١٩٤)



قطاع فى الحافظة الجنسية الذكرية لنبات الفيوكاس

٣ – نخاع (Medulla) يتكون من خلايا ذات جدر مغلظة وهلامية ، تفصل ما بين المحتويات البروتوبلازمية للخلايا ، وهى تؤدى جزئياً وظيفة التدعم وجزئياً وظيفة التوصيل.

(شكل ١٩٥)



ملخص دورة حياة الفيوكاس (عن نلسون)

وتوجد الأعضاء الجنسية — من أنثريدات وأوجونات — داخل تجاويف خاصـــة قارورية الشكل تعرف بالحوافظ الجنسية (Conceptacles) ، وفى الأنواع وحيدة المسكن توجد الأنثريدات والأوجونات فى نفس الحافظة الجنسية . أما فى الأنواع ثنائية المسكن فتوجد الأعضاء الجنسية الذكرية والأنثوية فى حوافظ جنسية منفصلة. وتحتوى الحافظة الجنسية الأنثوية (شكل ١٩٣)على عدد من الأوجونات المعنقة توجد بينها خيوط عقيمة (Paraphyses) غير متفرعة ، وتنقسم كل أوجونة (Oogonium) لتعطى ثمانى بيضات ، ويحدث انقسام اختزالى عند تكوين هذه البيضات . أما الحافظة الجنسية الذكرية فتحتوى على عدد كبير من الخيوط العقيمة المتفرعة ، تنتظم عليها الأنثريدات كفروع جانبية ، وتنقسم محتويات كل أنثريدة إلى عدد كبير من السابحات الذكرية ثنائية الأهداب ، ويحدث انقسام اختزالى عند تكوين هذه السابحات ، وحدوث انقسام اختزالى عند تكوين الأمشاج الجنسية يعد شاذاً بين النباتات ويشابه تماماً ما يحدث فى الحيوان . ولا يحدث الإخصاب داخل الحوافظ الجنسية ، بل تتحرر الأمشاج — من سابحات ذكرية وبيضات — إلى الماء الخارجى ، حيث تجذب كل بيضة عدداً كبيراً من السابحات الذكرية ، التى تحيط بها وتسبب دورانها نتيجة للتنافس بينها لكى تنفذ إلى داخلها ، ولا تنجح فى إتمام عملية الإخصاب سوى سابحة ذكرية واحدة ، أما ما عداها من سابحات فيكون مآلها الفناء ، وتنمو اللاقحة لتعطى طحلباً جديداً . ويرى فى (شكل ١٩٥) ملخص لدورة حياة الفيوكاس .

الفوائد الإقتصادية للطحالب

تعيش الطحالب فى المحيطات والبحيرات والبرك ومجارى المياه ، وتتغذى عليها الحيوانات الدقيقة التى تلتهمها الأسماك ، ولذلك تعد الطحالب بمثابة القاعدة الأساسية فى السلسلة الغذائية للأحياء البحرية ، تلك الأحياء التى لا تستطيع محاكاة الطحالب فى بناء ما يلزمها من مواد غذائية معقدة من خامات بسيطة ، كما تقوم الطحالب بدور على أكبر جانب من الأهمية

فى العمل على حفظ التوازن بين النبات والحيوان فى البيئة المائية . وذلك بفضل ما ينتج عما تقوم به فى عملية البناء الضوئى من امتصاص ثانى أكسيد الكربون وإخراج الأكسجين .

وقد دخلت الطحالب حديثاً سفن الفضاء ، واستخدمت لتكوين المواد الغذائية والتخلص من غاز ثانى أكسيد الكربون المتصاعد من تنفس الإنسان أو الحيوان المسافر على سفينة الفضاء ، وإخراج الأكسجين باستمرار لمواصلة التنفس والحياة .

ويمكن تلخيص الفوائد الأخرى للطحالب فيما يأتى :

تثبيت النيتروجين : تلعب بعض الطحالب دوراً هاماً فى زيادة خصوبة التربة ، فبعضها يستطيع أن يثبت النيتروجين الجوى – مثلها فى ذلك كمثل البكتيريا المثبتة للنيتروجين – وتجعله يتحد مع الأكسجين لتكوين مواد نيتروجينية غير عضوية تستطيع النباتات أن تستغلها كمصادر غذائية . وفى اليابان تستغل بعض هذه الطحالب للعمل على زيادة المحتويات النيتروجينية للتربة المعدة لزراعة الأرز ، حيث تلقح التربة بمثل هذه الطحالب المثبتة للنيتروجين الجوى لتزيد من المحتويات النيتروجينية لحقول الأرز ، وتنتمى هذه الطحالب عادة إلى طائفة الطحالب الخضر المزرقة كبعض أنواع النوستوك (Nostoc) والكالوثريكس (Calothrix) . وتلعب طحالب أخرى دوراً غير مباشر فى زيادة المحتويات النيتروجينية للتربة ، إذ تكون مغطاة بغشاء هلامى غليظ له القدرة على امتصاص الرطوبة الجوية ، فتعمل بذلك على إمداد ما يجاورها فى التربة من بكتيريا مثبتة للنيتروجين باحتياجاتها المائية وتحميها من الجفاف ، كما تزودها بمصدر كربوإيدراتى للطاقة .

بناء الفيتامينات : الصبغ الأصفر الموجود فى غالبية الطحالب – وهو الكاروتين – يعد المولد لفيتامين (أ) أو الفيتامين المضاد لمرض جفاف العين ، وتستطيع بعض الطحالب بناء فيتامين (د) وهو الفيتامين الواقى من الكساح . كما تحتوى بعض الطحالب الخضر على كميات ملموسة من فيتامين (ب) (الفيتامين المضاد لمرض البرى برى) وفيتامين (ج)

وفيتامين (ك) (وهو الفيتامين المضاد لنزف الدم) . ولما كانت الطحالب تستغل كغذاء للأسماك ، فإن هذه الفيتامينات تختزن فى أعضائها ، إما ليستغلها الإنسان مباشرة كمصدر غذائى غنى بالفيتامينات وإما ليستخدمها بعد استخراجها من الأسماك .

الطحالب كغذاء : تستعمل بعض الطحالب الحمر والبنية كغـــذاء للإنسان ، وهى تباع فى اليابان تحت اسم كومبو (Kombu) . وقد ازداد الاهتمام حديثاً باستغلال الطاقة الإنزيمية لبعض الطحالب الدقيقة وحيدة الخلية لا سيما الطحلب الأخضر المعروف علمياً باسم كلوريللا (Chlorella) ، لتحضير ما يحتاجه الإنسان والحيوان من غذاء ، إذ تستطيع مثل هذه الطحالب إذا نمت على منابت رخيصة مناسبة وتحت ظروف خاصة أن تهيىء مصدراً غذائياً غنياً بالبروتين يشتمل على جميع الأحماض الأمينية اللازمة لنمو الإنسان والحيوان . كما تستطيع أن تهيىء مصدراً غنيـاً بالدهـون والكربوإيدراتات .

وفى عام ١٩٤٩ قدر « حافرون » المحصول السنوى لمزرعة مائية مساحتها فدان واحد بخمسين طناً من الوزن الجاف لطحلب « الكلوريللا » ، نصفها بروتين ، ومن الدهون ١٠ ٪ ، ومن « فيتامين أ » (٥٠٠٠ وحدة /جم) ، ومثلها من « فيتامين ج » ، ومن حمض الفوليك المضاد للكساح (٤٨٥ وحدة /جم . (وهذا بطبيعة الحال محصول يزيد عدة أضعاف عن أى محصول زراعى معروف ، مما يجعل من استزراع الطحالب مشروعاً اقتصادياً مربحاً تخطط من أجله البرامج وترصد الأموال .

الاستغلالات الطبية : قبل اكتشاف ما عرف حالياً من عقاقير طبية كانت تستغل الطحالب لعلاج بعض الأمراض الإنسانية ، ومن أمثلة ذلك استغلال الطحلب البنى « سرجاسام » (Sargassum) لمعالجة مرض الجويتر وغيره من أمراض الاختلالات الغدية ، واستعمال الطحلب الأحمر « جليديم » (Gelidium) لعلاج الاختلالات المعوية والأمراض الرافعة لدرجة

الحرارة . وما زال الكثير من هذه العقاقير الطحلبية مستغلة لأغراض طبية . فيستخلص من الطحلب الأحمر « دجينيا سيمبلكس » (Digenia simplex) عقار « الهامينول » الطارد للديدان المعوية . ويستخدم طحلب « سرجاسم اينفوليام » (Sargassum linfolium) فى الهند لعلاج اضطرابات المثانة والأمراض الكلوية ؛ وفى الصين يستعمل الطحلب البنى « لاميناريا براكتياتا » (Laminaria bracteata) — على هيئة محلول لزج يعرف باسم « كوانبو (Kwanpu) — لعلاج ما يحدث للنساء من اضطرابات طمثية .

ولعل أهم الاستغلالات الطبية للطحالب البحرية حالياً هو استغلال البعض منها — والتى تعرف باسم « الطحالب الأجارية » (Agarophytes) — لإنتاج مادة الأجار (Agar) ؛ وهى مادة معروفة طبياً لأهميتها البالغة فى تزريع البكتيريا والفطريات ، كما تستغل فى غير ذلك من أغراض . ولفظ آجار مشتق من كلمة كان يستعملها أهل الملايو بمعنى هلام ؛ وكانوا يطلقونها على الهلام الذى يحضرونه بغلى بعض الطحالب البحرية وتبريد السائل الناتج . ويتميز الأجار بسيولته عند التسخين وتصلبه عند التبريد ، ومن ثم فهو يضفى على المنابت الغذائية — التى تستغل لإنماء الفطريات والبكتيريا — خاصية التصلب بعد التعقيم ؛ وهذه المنابت الغذائية — المتصلبة بالأجار — تعمل على تيسير دراسة الخواص الفسيولوجية والبيوكيميائية لكل من البكتيريا والفطريات ؛ وساعدت على التعرف تصنيفياً على ما يسبب منها الأمراض لكل من النبات والحيوان والإنسان .

ويعد عام ١٨٨١ ميلادية بالذات من أبرز الأعوام لتبيان الأهمية الطبية للأجار ، إذ أوضح « روبرت كوخ » أهميته فى إمكانية تزريع البكتيريا المسببة للأمراض ، ثم امتدت استغلالاته بعد ذلك لتشمل الكثير من الصناعات فهو يستغل حالياً — بديلا للجيلاتين — كمضاد للجفاف فى الخبز والجاتوهات وفى تحسين خواص الأنواع المختلفة من الأجبان ، وفى صناعة المنتجات اللبنية المجمدة وتعليب اللحوم والأسماك ؛ وكمادة لاصقة فى صناعة المنسوجات والأوراق ، وغيرها من صناعات .

وقد أمكن حتى الآن تحضير الأجار من بعض أنواع الطحالب الحمر التابعة للأجناس الآتية : « جليديم » **(Gelidium)** وجراسيلاريا **(Gracilaria)** وهيبنيا **(Hypnea)** وجيجارتينا **(Gigartina)** وبتيروكلاديا **(Pterocladia)** .

ومن الاستغلالات الطبية الأخرى قدرة بعض الطحالب على إنتاج مضادات حيوية أو أحماض دهنية غير مشبعة ذات تأثير قاتل على بعض الميكروبات البكتيرية ، وهى قدرة ذات أهمية بيئية من حيث تنافس الطحالب على النمو مع غيرها من كائنات . ومن أمثلة هذه المضادات الحيوية « السارجالين » ومشتقات البروم الفينولية المستخلصة من بعض الطحالب البحرية ، والكلوريللين (Chlorellin) الذى يخلقه الطحلب الأخضر الوحيد الخلية — وهو طحلب « الكلوريللا » **(Chlorella)** — مما فى المنبت الذى ينمو عليه من مواد غذائية ، وتستغل ظاهرة التنافس بين الطحالب والبكتيريا لتنقية مياه المجارى والمستنقعات مما يلوثها من كائنات بكتيرية .

الألجينات (Alginates) : الألجينات هى لفظ عام للدلالة على أملاح حمض الألجنيك **(Alginic acid)** ، الذى يوجد بكثرة ملحوظة فى أفراد رتبة « اللاميناريات » **(Laminariales)** وغيرها من رتب الطحالب البنية . وتتراوح كميته فى هذه الطحالب بين ١٥ ٪ و ٤٠ ٪ . إلا أن هذه النسبة تتعرض لتذبذبات موسمية ، فتصل إلى ذروتها فى الخريف وتهبط فى الربيع كما تتأثر بطبيعة الوسط المائى وبعمق الانغمار . وتعد الألجينات من بين الغروانيات الطحلبية (Phycocolloids) ، ولها القدرة على أن تمتص من الماء ٣٠٠ مرة قدر وزنها ، كما أنها تذوب فى الماء لتعطى محاليل ثخينة تتميز بشدة لزوجتها ، ولذلك تستعمل فى الطباعة وصناعة النسيج . وفى اليابان يدخل حمض الألجنيك — المستخلص من طحلب « السارجاسم » — فى صناعة الحرير الصناعى ، وتمتاز الأقمشة المنسوجة من الألجينات بعدم احتياجها إلى عملية صباغة ، نظراً لكونها ملونة طبيعياً ، فألجينات النحاس تكون خضراء اللون وألجينات الكوبلت حمراء وألجينات الكروم زرقاء .

ولما كان للألجين خواص ملحوظة من حيث قدرته على امتصاص الماء، فإنه يستغل فى كثير من الصناعات كمادة مغلظة أو معلقة أو مثبتة أو مستحلبة أو مكونة لهلام . ومن ثم فيستعمل فى صناعة المثلجات والطلاءات والدهانات كما يستعمل صيدلانياً فى تحضير العقاقير والمضادات الحيوية ، ويستعمل كمروب للبن النباتى فى صناعة المطاط وفى طباعة المنسوجات .

دباغيات طحلبية (Algal tannins) : تظهر بعض الطحالب البنية استجابة لونية قوية مع أملاح الحديد . مما يدل على وجود مواد دباغية ويستعمل المستخلص المائى للطحلب البنى (سارجاسم رينججوالديانم) (Sargassum ringgoldianum) فى صناعة دباغة الجلود باليابان حيث تختزن الدباغيات بجسم الطحلب فى حويصلات خاصة تعرف باسم «الحويصلات الدباغية » (Physodes) كما وجدت مادة دباغية فى الطحلب الأخضر سبيروجيرا أركتا (Spirogyra arcta) . ويختلف التركيب الكيميائى لهذه المواد الدباغية باختلاف الطحالب المنتجة لها .

الطحالب كسماد بوتاسى : تستطيع غالبية الطحالب تجميع البوتاسيوم بداخلها بتركيزات تبلغ عشرين إلى ثلاثين مرة مثيلاتها فى مياه البحر المجاورة ويكون البوتاسيوم عادة فى صورة كلوريد البوتاسيوم . ونظراً لوفرة أملاح البوتاسيوم فى كثير من الطحالب البنية والحمر فإنها تستغل فى بعض البلاد على نطاق واسع كمخصبات للتربة، ففرنسا تستعمل مثلا حوالى ثلاثة ملايين طن سنوياً من هذه الطحالب كمخصبات .

الطحالب كمصدر لليود : ومن مظاهر تجميع الطحالب للعناصر الموجودة فى مياه البحر تجميع اليود . فيستطيع الطحلب البنى « لاميناريا (Laminaria) تركيزه بداخله إلى ٣٠٠٠٠ مرة من تركيزه فى مياه البحر علماً بأن تركيزه فى هذه المياه يتراوح ما بين ٠٣ و — و ٠٧ و ٠ جزء فى المليون . وكذلك تستطيع بعض الطحالب الخضر والحمر ، ويبلغ تركيزه فى اللاميناريا حداً

يمكن معه الشعور بتطاير اليود أثناء انخفاض الجزر ، كما تعد الطحالب بمثابة مصادر للبروم .

الفوائد الاقتصادية للدياتومات : لما كانت الدياتومات – أو الطحالب العصوية – متضمنة فى الطحالب بوجه عام . فلا بد أن تؤخذ فوائدها الاقتصادية كذلك فى الاعتبار . وقد سبق أن أشرنا إليها فى موضع سابق من هذا الباب .

الباب السابع عشر

الفطريات الحقيقية

تعد الفطريات الحقيقية (True fungi) كالطحالب من حيث مدى التركيب الخضرى ، فتكون وحيدة الخلية أو خيطية أو تتشابك خيوطها لتكوين تراكيب خلوية ، إلا أنها تختلف عن الطحالب اختلافاً جوهرياً من حيث خلوها من البلاستيدات الخضر ، ولذلك فلا تستطيع أن تعيش كالطحالب مستقلة ومعتمدة على نفسها لاستيفاء احتياجاتها الغذائية ، بل لابد لها أن تعتمد فى معيشتها على غيرها من الكائنات الراقية . وتتكون الفطريات من خيوط مجهرية تعرف بالخيوط الفطرية (Hyphae) ، قد تكون مقسمة إلى خلايا أو غير مقسمة ، وتأخذ هذه الخيوط فى التفرع والتداخل لتكون غزلا ظاهراً للعين المجردة يسمى الغزل الفطرى (Mycelium) . وتشبه خلايا الفطريات مثيلاتها فى الكائنات الراقية من حيث المظهر العام ، فلكل خلية جدار ، إلا أن التركيب الكيميائى لجدار الخلية الفطرية يختلف عن مثيله فى النباتات الراقية ، فهو نوع آخر من السليلوز يحتوى على عنصر النيتروجين ويسمى بالسليلوز الفطرى ، ويشبه تماماً من حيث التركيب كيتين (Chitin) الحشرات . ويوجد البروتوبلازم داخل الجدار محتوياً على نواة أو أكثر وعلى مواد غذائية مدخرة على هيئة حبيبات أو فجوات .

وتختلف ماهية المواد الغذائية عن مثيلاتها فى النباتات الراقية ، فبينما يكون الجلوكوز والفركتوز أكثر السكرات الأحادية شيوعاً فى النباتات الراقية نجد أن هذين السكرين لا يوجدان فى الفطريات إلا بكميات ضئيلة للغاية ، ويقوم مقامهما سكر آخر أحادى يعرف بسكر المانيتول (Mannitol) وتركيبه الكيميائى هو (ك$_6$ يد$_{14}$ ا$_6$) ، أما فيما يختص بالسكرات الثنائية فلا يوجد سكر قصب (Sucrose) فى الفطريات ، بل يحل محله سكر ثنائى

آخر يعرف بالتريهالوز (Trehalose) ، وأكبر الفروق بين الفطريات والنباتات الراقية هو فى عديد التسكر « النشا » ، إذ لايوجد الأخير على الإطلاق فى الفطريات ويحل محله النشا الحيوانى أو الجليكوجين (Glycogen) ، والدهون والأحماض العضوية كثيرة الانتشار فى الفطريات . أما فيما يختص بالمواد الملونة فالفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضر والأنثوسيانين (Anthocyanin) ولكن يكثر وجود الكاروتين (Carotene) . ويكون الماء الجزء الأكبر من الثالوس الفطرى ، فهو يكون حوالى ٩٨ ٪ من وزن الفطريات الهلامية . إلا أن نسبة الماء فى الفطريات الجافة أقل من ذلك . وتحليل الرماد المتخلف عن الثالوس الفطرى يبين وجود العناصر الآتية : الكربون ، النيتروجين ، الأيدروجين ، الأكسجين ، الكبريت ، الفوسفور البوتاسيوم ، الماغنسيوم والحديد . وتوجد هذه العناصر فى جميع الفطريات وتدخل فى تركيب البروتينات . وقد توجد عناصر أخرى مثل الكلور والمنجنيز والصوديوم واليود وغيرها .

وتوجد الفطريات منتشرة فى التربة ومنتثرة فى الهواء وتعيش قلة منها فى الماء . ولما كانت الفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضر ، التى تستطيع بها غيرها من النباتات تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون الجوى وتكوين الكربوإيدراتات ، فإنها تعجز عن أن تعيش مستقلة بذاتها ، ولابد لها من الاعتماد على غيرها من كائنات حية أو مواد عضوية ميتة لاستيفاء احتياجاتها . وتعرف الفطريات التى تعتمد على كائنات حية بالفطريات المتطفلة (Parasitic fungi) والتى تعتمد على مواد عضوية ميتة بالفطريات المترممة (Saprophytic fungi) . ومن الفطريات ما تستوفى احتياجاتها الغذائية بأن تنتهج معيشة تكافلية — أو تبادل منفعة — مع غيرها من الكائنات الحية ، وتعرف بالفطريات المتكافلة (Symbiotic fungi) ، ومن ثم فيمكن تمييز مناهج الحياة الآتية بين الفطريات :

١ — **طفيليات إجبارية** (Obligate parasites) : لا تستطيع أن تعيش

إلا متطفلة على كائنات حية ، لا سيما النباتات ، مثل الفطرة المسببة لمرض البياض الزغبي للعنب وفطرة « صدأ القمح » .

٢ — **طفيليات إختيارية** (Facultative parasites) : تعيش عادة مترممة على المواد العضوية فى التربة ، ولكن تستطيع أن تتطفل عند وجود عائل يلائمها مثل فطرة الفيوزاريام (**Fusarium**) المسببة لمرض ذبول القطن .

٣ — **رميات إختيارية** (Facultative saprophytes) : تعيش عـــادة متطفلة ، ولكن تستطيع عند الضرورة أن تعيش مترممة مثل فطريات التفحم

٤ — **رميات إجبارية** (Obligate saprophytes) : لا تستطيع أن تعيش إلا مترممة على مواد عضوية ميتة مثل فطرة « العفن الأسود » التى تنمو على الخبز المتعفن .

٥ — **فطريات متكافلة** (Symbiotic fungi) : تعيش معيشة تـــكافل أو تبادل منفعة مع غيرها من النباتات كالفطريات الأشنية (Lichen fungi) التى تعيش متكافلة مع الطحالب لتكون نباتات مركبة تعرف بالأشن(Lichens)

وتتطفل الفطريات عادة على النباتات . وقد تتطفل بعضها على أجسام الحشرات مثل دودة القز والذباب فتوردها موارد الهلاك ، أما تطفلها على الإنسان فمن الندرة بمكان ، إلا أن بعض الأمراض الجلدية مثل مرض القراع العسلى تحدث بسبب إصابة جلد الرأس بنوع من الفطر الطفيلى المعروف علمياً باسم جنس « ترايكوفيتون » (**Trichophyton**) ، كما أن هناك بعض أمراض جلدية تسببها أنواع من فطريات الخميرة الخيطية .

ويرجع هذا التنوع فى مناهج حياة الفطريات إلى قدرتها على إفراز كثير من الإنزيمات ، يختلف عددها وأنواعها باختلاف البيئات . وتهدف القدرة الإنزيمية فى الفطريات المترممة نحو تكسير المواد العضوية المعقدة — التى تعجز عن هضمها — إلى مواد بسيطة تستطيع أن تمتصها وتستغلها استغلالا مباشراً . كما أن هناك من الإنزيمات ما تعمل على تكوين مواد معقدة مما فى منابتها من

مكونات غذائية بسيطة ، ومن أمثلة هذه المواد المعقدة الفيتامينات والمضادات الحيوية ، أما الفيتامينات فتستغلها كمكونات لمرافقاتها الإنزيمية ، وأما المضادات الحيوية فلمحاربة غيرها من كائنات لفائدتها الذاتية . وتنفرد الفطريات المتطفلة بإفراز إنزيم خاص يعرف بالبكتينيز (Pectinase) له القدرة على تكسير مادة الصفيحة الوسطى (Middle lamella) لجدر خلايا العائل وإذابتها ، فيعمل هذا الإنزيم على تمزيق أنسجة العائل وتفكيكها ويهيء للفطر سبيلا لينفذ إلى داخلها ويتعمق فى خلاياها .

ويجرى تقسيم الفطريات بحسب انقسام الخيط الفطرى أو عدم انقسامه ، وبحسب أنواع الجراثيم الجنسية (Sexual spores) المتكونة — ما إذا كانت جراثيم زقية (Ascospores) أو بازيدية (Basidiospores) — إلى المجموعات الأربع الآتية :

١ — **فطريات طحلبية** (Phycomycetes) : وفيها يكون الغزل الفطرى عادة غير مقسم .

٢ — **فطريات زقية** (Ascomycetes) : وتمتاز بانقسام غزلها الفطرى بجدر مستعرضة وبتولد جراثيمها الزقية (Ascospores) داخل كيس خاص يسمى الزق .

٣ — **فطريات بازيدية** (Basidiomycetes) : وتمتاز بانقسام غزلها الفطرى بجدر مستعرضة وبتولد جراثيمها البازيدية (Basidiospores) خارج تركيب خاص صولجانى الشكل يعرف بالبازيديوم (Basidium) .

٤ — **فطريات ناقصة** (Deuteromycetes) : وهى مقسمة داخلياً بجدر مستعرضة ، إلا أنها عديمة الجراثيم سواء زقية أو بازيدية ، ولا يعرف فيها أى نوع من التناسل الجنسى .

الفطريات الطحلبية

تمتاز الفطريات الطحلبية (Phycomycetes) بخلو غزلها الفطرى من الجدر المستعرضة ، وتحتوى على عدة أنواع ، منها ما يعيش مترمما فى الماء

على بقايا المواد العضوية كفطرة عفن الماء . ومنها ما يعيش فى التربة مترمما على المواد العضوية — من المخلفات النباتية والحيوانية — مثل فطرة العفن الأسود المعروفة علميا باسم «رايزوبس نيجريكانس» **(Rhizopus nigricans)** ، ومنها ما يعيش متطفلا فيسبب للنباتات أخطر الأمراض. وتنقسم طائفة (Class) الفطريات الطحلبية إلى تحت طوائف أو طويئفات (Sub-classes) حسب المميزات الشكلية للأعضاء الجنسية ، ما إذا كانت متميزة شكلياً إلى حوافظ مشيجية ذكرية أو أنثريدات (Antheridia) وحوافظ مشيجية أنثوية أو أوجونات (Oogonia) ، أو كانت الحافظتـــان المشيجيتان المتزاوجتان متشابهتين ، ومن ثم تحتوى الفطريات الطحلبية على الطويئفتين الرئيسيتين الآتيتين :

(أ) فطريات بيضية (Oomycetes) : وفيها تكون الأعضاء الجنسية متميزة شكلياً إلى أنثريدات وأوجونات ، وتحتوى الأوجونة على بيضة واحدة . ويتم الإخصاب باقتراب الأنثريدة من الأوجونة والالتصاق بها ، وبروز أنبوبة إخصاب من الأنثريدة تخترق جدار الأوجونة حتى تصل إلى البيضة فتخصبها . وسندرس كمثل لها فطرتى « الألبوجو » **(Albugo)** والبلازموبارا **(Plasmopara)** .

(ب) فطريات تزاوجية (Zygomycetes) : وفيها تـــكون الأعضاء الجنسية غير متميزة شكلياً ، ويتم الإخصاب بين حافظتين مشيجيتين متشابهتين ، كما فى فطرة « عفن الخبز » **(Rhizopus)** .

والأجناس التى تنتمى إلى الفطريات التزاوجية تعرف عادة بفطريات العفن (Mould fungi) . وتعيش غالباً مترممة على البقايا العضوية النباتية والحيوانية .

أما الأجناس التى تنتمى إلى الفطريات البيضية فتكون عادة إجبارية التطفل ، بمعنى أنها لاتستطيع أن تعيش بعيداً عن عوائلها النباتية الحية . وتتميز فطرة « الألبوجو » عن « البلازموبارا » فى طريقة انتظام الحوامل

الحافظية (Sporangiophores) . وهى الحوامل التى تنتظم عليها الوحدات اللاجنسية . فهى هوائية — خارج بشرة النبات العائل — فى جنس « البلازموبارا » بينما فى الألبوجو تكون تحت بشرية (Subepidermal) .

وتسبب فطرة « الألبوجو » مرضا يصيب الكثير من النباتات ، ويعرف بمرض الصدأ الأبيض . أما فطرة « البلازموبارا » فمنها نوع يسمى « البلازموبارا فيتيكولا » (Plasmopara viticola) ويعد من أخطر الأنواع إذ يسبب مرض البياض الزغبى (Downy mildew) للأعناب ، وسنتحدث بالتفصيل عن كل واحدة من هذه الفطر الثلاث .

البوجو

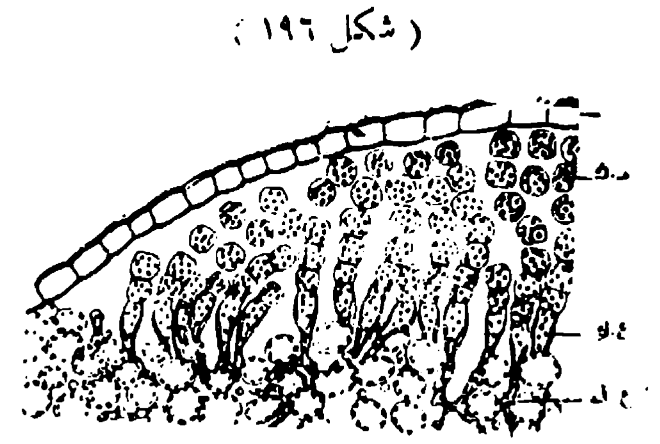
يسبب الألبوجو (Albugo) مرضا فطريا للنبات يعرف بمرض الصدأ الأبيض (White rust) . وترجع هذه التسمية لمشابهته لمرض الصدأ العادى المعروف فى القمح من حيث تكوين الجراثيم فى بثرات ، ومن حيث انتظامها فى سلاسل بطريقة مشابهة للجراثيم الأسيدية ، مما سيأتى شرحه فيما بعد . وبحسب النبات العائل الذى تتطفل عليه الفطرة ، تقسم الأخيرة إلى عدة أنواع ، فمن أنواعها ما يصيب أفراد الفصيلة الصليبية (Cruciferae) — كالفجل واللفت ونبات الخردل — ويعرف علميا باسم « البوجو كانديدا » (Albugo candida) . ومنها نوع يصيب نبات الرجلة (Portulaca sp.) ويعرف علميا باسم « البوجو بورتيولاكى » (Albugo portulacae) ، ويعد أكثر أنواع الألبوجو شيوعا فى مصر ، إلا أن المرض المسبب عنه قليل الأهمية من الوجهة الاقتصادية لأن الرجلة محصول ثانوى ، كما أن هناك أنواعا أخرى من الفطرة تصيب أفراد الفصيلتين العلاقية (Convolvulaceae) والمركبة (Compositae) .

وتتمثل الأعراض الخارجية للمرض فى ظهور بثرات بيضاء لامعة تشبه الشمع على السيقان والأوراق ، وأحيانا على الثمار ، ويسبب ذلك تشوهها

للشماريخ الزهرية والثمار . ويوجد الغزل الفطرى فى المسافات البينية لخلايا العائل ويرسل إلى داخل الخلايا ممصات (Haustoria) كثيرة ، صغيرة ومستديرة ، لاستدرار احتياجاته من المواد الغذائية .

التناسل اللاجنسى :

(شكل ١٩٦)



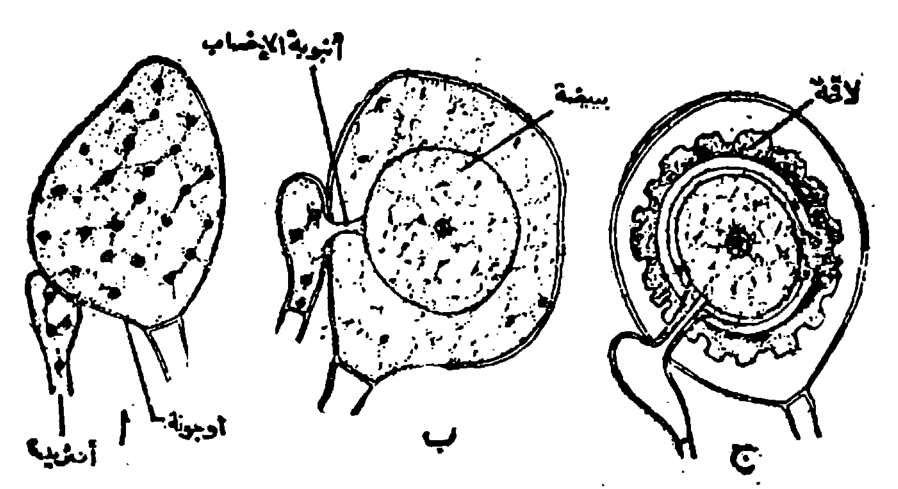
قطاع مستعرض فى نبات مصاب بفطرة الألبوجو يبين الخيوط الفطرية (خ . ف) بين خلايا العائل ، والحامل الكونيدى (ح . ك) عليه الجراثيم الكونيدية (ج . ك) ، وترى بشرة العائل (ب) آخذة فى الارتفاع نتيجة لاستطالة الحوامل والجراثيم الكونيدية (عن سميث) .

بعد فترة من نمو الفطرة داخل النبات ، تكون أثناءها قد استنفدت الكثير مما بداخله من غذاء ، تبدأ فى التناسل لاجنسياً بإنتاج وحدات خاصة تستطيع بها إصابة نباتات عوائل جديدة . فيأخذ الغزل الفطرى الذى يقع تحت خلايا البشرة مباشرة فى التفرع والتجمع . ومن ثم يعطى صفوفاً متراصة من حوامل حافظية (Sporangiophores) صولجانية الشكل ، تتجمع تحت البشرة فى مستوى عمودى على سطح الورقة ، وينتج عن استطالتها دفع البشرة إلى أعلى وتكوين بقعة بيضاء تبدو على سطح الأوراق والسيقان والأجزاء الزهرية والثمار ، ولا يلبث الحامل الحافظى أن ينتج سلسلة من الحوافظ الجرثومية (Sporangia) يقع أكبرها حجماً وأكثرها نضجاً قرب البشرة ، أما أصغرها حجماً وأحدثها عمراً فتستقر عند الطرف غير المنقسم من الحامل الحافظى (شكل ١٩٦) . وتزداد سلاسل الحوافظ الجرثومية استطالة فتسبب تمزق البشرة . وتستمر الحوافظ فى التخصر حتى تنفصل عن السلسلة التى تنتظم فيها انفصالا تاماً . وتنتشر بوساطة الرياح أو غيرها من وسائل آلية لتصيب نباتات عوائل جديدة .

وتتوقف طريقة إنبات الوحدة اللا جنسية على العائل الجديد على الظروف البيئية الغالبة ، فإذا ما ابتلت بالندى أو المطر أصبحت حافظة جرثومية وانقسمت محتوياتها الداخلية وأنتجت جراثيم سابحة يصل عددها إلى حوالى اثنى عشرة جرثومة أو أكثر ، لكل منها هدبان جانبيان ، وتسبح الجرثومة فى الماء لفترة وجيزة ثم تستقر وتكون حوصلة (Cyst) . ثم تنبت الأخيرة لتعطى أنبوبة إنبات تتخذ طريقها خلال أحد الثغور إلى داخل النبات ، أما فى حالة الجفاف فتتخذ هذه الوحدات اللا جنسية مسلكاً مختلفاً ، إذ تنبت مباشرة — دون انقسام داخلى وإنتاج جراثيم سابحة — لتعطى كل واحدة منها أنبوبة إنبات ، وتعرف الوحدة اللاجنسية فى مثل هذه الحالة بالكونيدة (Conidium) ، ويعرف الحامل بالحامل الكونيدى (Conidiophore) .

التناسل الجنسى : وعندما تبدأ أنسجة النبات العائل فى الموت ، تستجيب لها الفطرة بتكوين أعضاء جنسية من أنثريدات وأوجونات (شكل ١٩٧) توجد متعمقة داخل أنسجة النبات ، أما الأوجونة فلا تحتوى إلا على بيضة واحدة ، ولا تنتج الأنثريدة سابحات ذكرية بل تعطى أنبوبة إخصاب (Fertilization tube) تخترق جـدار الأوجونة ، وتتصل عن طريقها أنوية

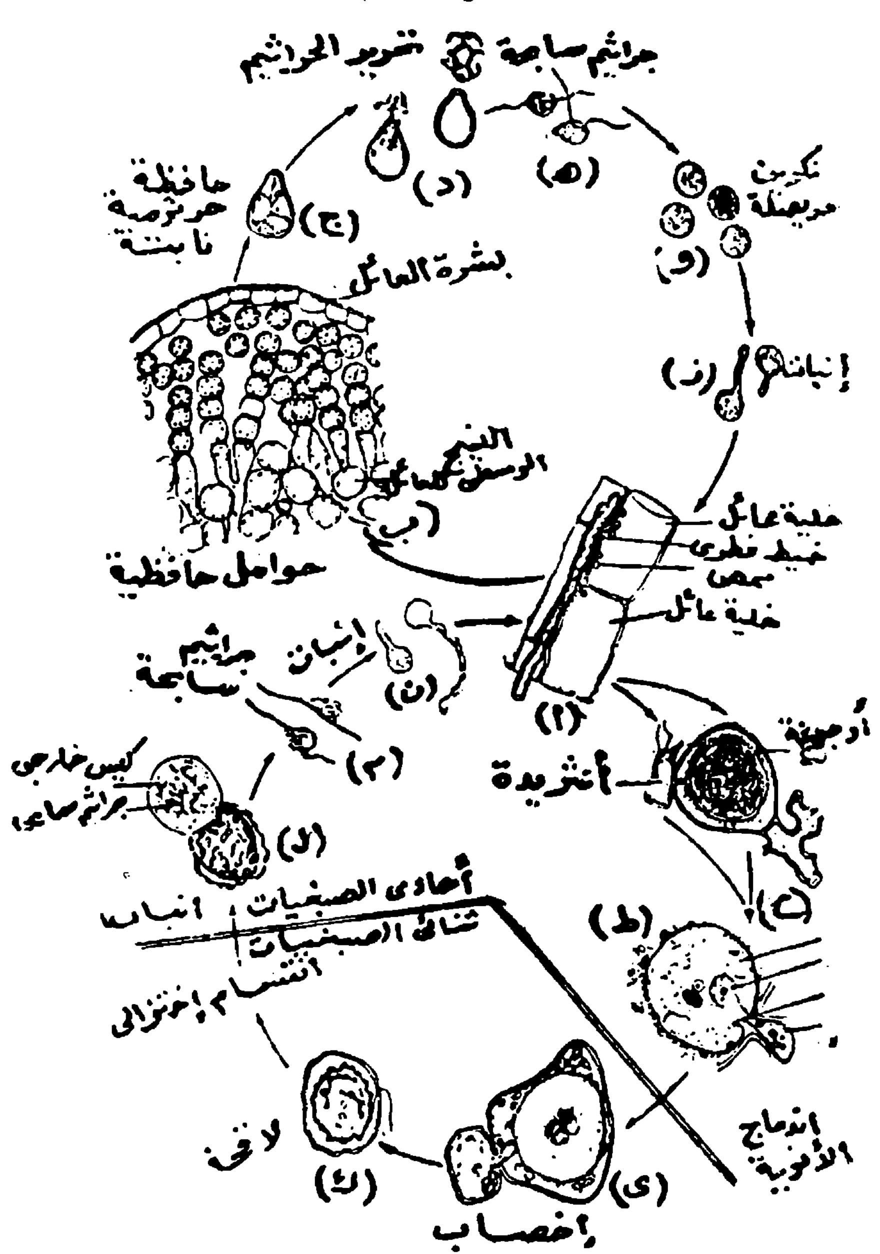
(شكل ١٩٧)



طريقة التناسل الجنسى لفطرة الألبوجو: (ا) تميز الأعضاء الجنسية إلى أنثريدة وأوجونة، (ب) تكوين البيضة داخل الأوجونة وانبثاق أنبوبة الإخصاب من الإنثريدة مخترقة الجدار الأوجونى حتى تصل إلى البيضة، (ج) إتمام الإخصاب وتكوين اللاقحة (عن سميث) .

الأنثريدة لتخصب البيضة . وتحاط البيضة المخصبة — أو اللاقحة — بجدار غليظ ذى لون بنى قاتم . وتستطيع وهى على هذا الحال أن تقاوم كل الظروف غير الملائمة التى قد تتعرض لها الفطرة .

(شكل ١٩٨)



ملخص دورة حياة فطرة الألبوجو : (ا) نمو الفطرة داخل العائل ، (ب) انتاج الحوامل الحافظية ، (ج — ز) تحرر الحافظة الجرثومية وانقسامها وتحوصل الجراثيم السابحة الناتجة وانباتها لتصيب العائل ، (ح — ك) التناسل الجنسى ، (ل — ن) إنبات اللاقحة وإنتاج جراثيم سابحة (عن الكسوبولوس) .

وتتحرر اللاقحة بعـد انحلال أنسجة النبات العائل (Host plant) ؛ ثم تمر بفترة سكون ، حتى إذا ما تهيأت لها الظروف المواتية انفجرت متفتحة ومنتجة كيساً خارجياً يحتوى على عدد كبير من الجراثيم السابحة ثنائية الأهداب الجانبية ، قد يزيد عددها فى الكيس الواحد على المائة ؛ تستطيع كل جرثومة منها أن تنبت وتبدأ إصابة جديدة ، ويبين (شكل ١٩٨) ملخص دورة حياة فطرة الألبوجو .

مرض البياض الزغبى للعنب

يتسبب مرض البياض الزغبى (Downy mildew) للعنب عن الإصابة بفطرة « بلازموبارا فيتيكولا » (**Plasmopara viticola**) ، وتظهر أعراض المرض فى باكورة فصل الصيف على هيئة بقع صفراء باهتة غير منتظمة على الأوراق ، قد تمتد لتشمل أيضاً الأعناق والثمار . ولا تلبث هذه البقع أن تتخذ لوناً بنياً نظراً لموت خلايا النبات العائل . وينتج عن الإصابة بالمرض جفاف الأوراق وسقوطها ، وعجز الأوراق المصابة عن القيام بوظيفة البناء الضوئى مما يحول دون استيفاء النبات لاحتياجاته الغذائية ، فلا ينمو بالتالى نمواً طبيعياً وقد يموت النبات العائل إذا كان صغيراً وكانت الإصابة من الخطورة بمكان كما يسبب المرض تساقط الأزهار ، مما يعنى نقصاً ملحوظاً فى الثمار (وهى الأعناب) ، أما الثمار المصابة فلا يستساغ أكلها ويتعذر بيعها .

ويمتد الغزل الفطرى داخل أنسجة العائل لينمو بين الخلايا ، ويرسل ممصات مستديرة صغيرة إلى داخل الخلايا ذاتها ليمتص ما بداخلها من مواد غذائية ، وهو يمتد إلى سائر أنسجة النبات العائل فيما عدا الخشب ، فإذا ما استنفدت الفطرة ما بداخل أنسجة العائل من مدخرات غذائية ، وبدأت الخلايا تنهك وتفقد حيويتها ، أخذت الفطرة فى العمل على تكاثر جيلها خارج أنسجة العائل بطريقة لا جنسية (Asexual) . فأرسلت بخيوط هوائية تتخذ طريقها خلال الثغور إلى الخارج . ثم لا تلبث أن تتحول إلى حوامل حافظية

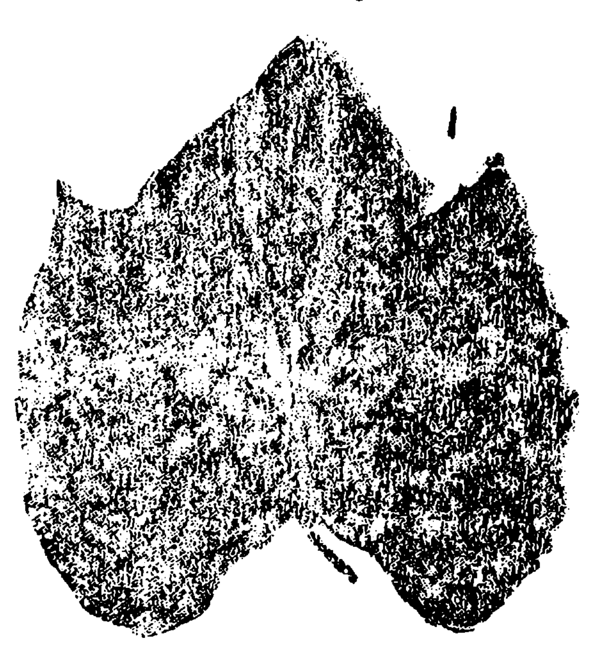
(Sporangiophores) ويتكون كل حامل حافظى (شكل ١٩٩ : ب) من محور رئيسى ممتد رأسياً ويتفرع إلى عدة فروع جانبية : وهذه الفروع الجانبية تتفرع بدورها إلى فروع ثانوية صغيرة تحمل عند أطرافها الحوافظ الجرثومية (Sporangia) وتظهر الحوامل الحافظية على السطح الخارجى للنبات المصاب كبقع بيضاء اللون زغبية النمو . ولذلك سمى المرض بالبياض الزغبى

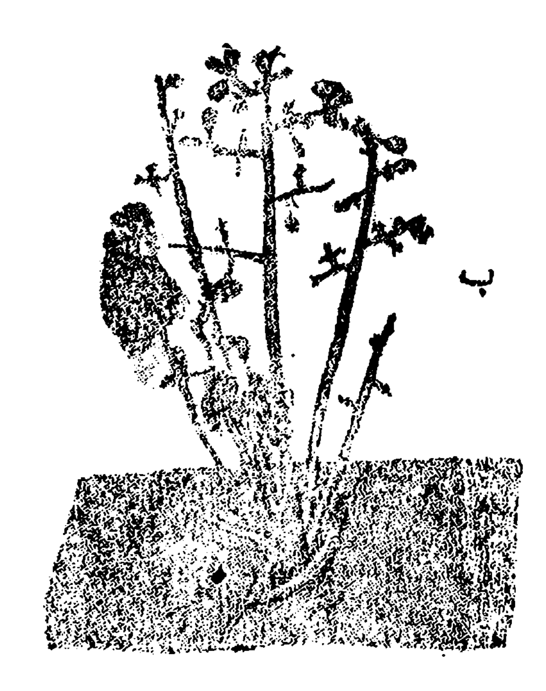
وتنتقل هذه الحوافظ الجرثومية بوساطة الرياح أو غيرها من وسائل آلية لتصيب أجزاء جديدة من نفس النبات أو نباتات عوائل جديدة ، وهى لا تستطيع الإنبات إلا فى وجود الماء . فإذا ما تهيأت لها الظروف الرطوبية المناسبة انقسمت محتوياتها إلى عدد من الجراثيم السابحة (Zoospores) الثنائية الأهداب . لا تلبث كل واحدة منها أن تفقد أهدابها وتنبثق منها أنبوبة إنبات تنفذ إلى داخل النبات . إما مخترقة الأدمة أو مجتازة أحد الثغور ، ولما كان وجود الماء ضرورياً لانقسام الحافظة الجرثومية وتكوين الجراثيم السابحة — وهى الوحدات اللازمة لإصابة النبات فإن هذا المرض يكثر وجوده حيث تشتد الرطوبة . لا سيما فى الوجه البحرى . وهو ينتشر بسرعة أثناء الجو الرطب . ويعد الموسم الممطر من أنسب المواسم لانتشاره .

ويعمل التناسل اللا جنسى على انتشار المرض أثناء موسم نمو الأعناب ؛ حتى إذا ما قارب ذلك الموسم الانتهاء استجابت الفطرة له — للمحافظة على نوعها ولضمان تسلسل أجيالها — بتكوين أعضاء جنسية متميزة على الغزل الفطرى المتطفل بين خلايا أنسجة النبات العائل ، وينتج عن التزاوج بين كل أنثريدة وأوجونة تكوين لاقحة أو جرثومة بيضية (Oospore) ، وتتميز هذه الجراثيم البيضية بسمك جدرها وغزارة مدخراتها الغذائية ، وتتكون داخل أنسجة الأوراق الميتة وتظل كامنة بداخلها وتسقط على الأرض بسقوطها . حيث تمضى فصل الشتاء وتستطيع هذه الجراثيم البيضية الاحتفاظ بحيويتها تحت أقسى الظروف البيئية من حر لافح أو برد قارس . مما لا تستطيع أن تتحمله الجراثيم اللا جنسية العادية

وتنتج الإصابة فى الربيع التالى من الجراثيم البيضية الكامنة فى التربة ، حيث تستحثها الظروف المواتية على الإنبات . فتبرز منها أنبوبة إنبات تتسع عند طرفها لتعطى حافظة جرثومية . تنقسم محتوياتها إلى عدد من الجراثيم

(شكل ١٩٩)





مرض البياض الزغبى للعنب: (ا) ورقة عنب مصابة تظهر عليها الأعراض الخارجية ، (ب) الثمر تنبثق منه الحوامل الحافظية ، وتنتظم عليها الحوافظ الجرثومية

السابحة ، التى لا تلبث أن تتحرر وتسبح فى مياه المطر أو الرى لتصل إلى الأجزاء القاعدية للمجموع الخضرى والأوراق السفلى . فتنفذ إلى داخلها وتسبب إصابتها . وتتكون ملايين الجراثيم السابحة التى تنتشر بسرعة لتعمل على انتشار المرض .

ويمكننا استنتاج طرق المقاومة والعلاج مما سبق وصفه من أعراض ودورة حياة . وتتلخص فيما يأتى :

١ - بما أن تكدس الأوراق يعمل على تهيئة الظروف الرطوبية المناسبة لانتشار المرض ، فإن تقليم الأوراق يقلل من تكدسها ، وبالتالى من تهيئة الجو الرطب الذى يساعد على الإصابة .

٢ - التقاط وإعدام جميع الأوراق المصابة التى تستقر على الأرض لاحتوائها على الجراثيم البيضية للفطرة .

٣ - الحيلولة دون الإصابة بالمرض فى باكورة الموسم ، وذلك بالرش بمحلول بوردو (محلول مائى يحتوى على كبريتات النحاس والجير الحى) أو بالتعفير بزهر الكبريت .

رايزوبس نيجريكانس

تعد فطرة الرايزوبس نيجريكانس **(Rhizopus nigricans)** مثلا للفطريات الطحلبية المترممة . وتعرف بفطرة العفن الأسود **(Black mould)** وتشاهد على الخبز وروث الخيل والمواد العضوية . ويتكون الرايزوبس (شكل ٢٠٠) من رئد (Stolon) يمتد أفقياً فوق سطح المادة العضوية التى يعيش عليها . ولا يمتد الرئد أفقياً ملامساً الطبقة التحتية عند جميع أجزائها ، بل يكون مقوساً ، وكلما لامسها أرسل أشباه جذور **(Rhizoids)** تتخللها وتتعمق فيها لامتصاص الغذاء ، وتنبثق مقابل كل مجموعة من أشباه الجذور حزمة من الخيوط الهوائية التى تكون فيما بعد الحوامل الحافظية **(Sporan-giosphores)** .

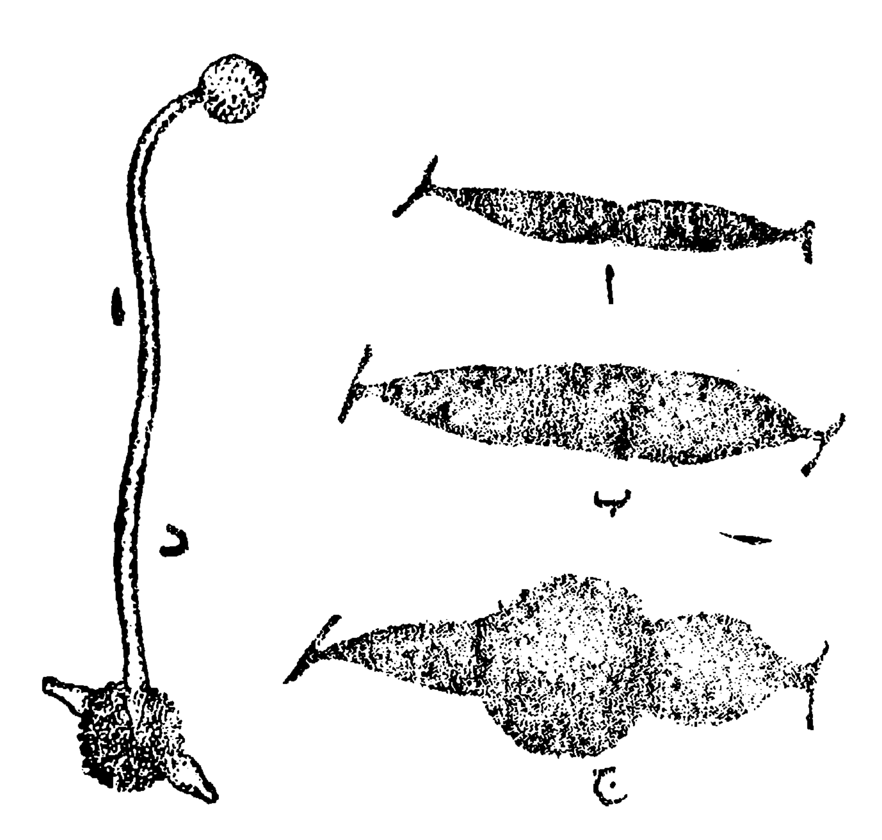
(شكل ٢٠٠)

فطرة الرايزوبس مبينة تركيب الثالوس من رئد منبسط ، تخرج منه مجموعات من أشباه الجذور الماصة الغذاء وحزم من الحوامل الحافظية تتجه إلى أعلى (عن سميث) .

التناسل اللاجنسي : تأخذ الفطرة فى التناسل لا جنسياً بعد فترة . إذ يصبح الجزء الطرفى من الخيط الهوائى غنياً بالسيتوبلازم والأنوية والمواد الغذائية . وينفصل عن بقية الخيط بجدار مستعرض . وتنقسم محتوياته إلى عدة جراثيم أو أبواغ حافظية (Sporangiospores) ، ويأخذ الجدار المستعرض فى توالى البروز إلى داخل الحافظة البوغية (الجرثومية) مكوناً ما يعرف بالعويميد (Columella) ، وعندما تنضج الجراثيم يستمر العويميد فى الانتفاخ مندفعاً إلى داخل الحافظة البوغية (Sporangium) . ويسبب ذلك ضغطاً على الجراثيم ، التى تضغط بدورها على جدار الحافظة البوغية ويؤدى ذلك فى النهاية إلى تمزق جدار الحافظة وتحرر الجراثيم الداخلية ، التى تنتثر بوساطة الهواء أو غير ذلك من وسائل آلية. فإذا ما استقرت الجرثومة على منبت غذائى مناسب لإنباتها ، أعطت أنبوبة إنبات تستمر فى تقدمها ونموها لتكون بدورها رئداً أفقياً وأشباه جذور وحوافظ بوغية للقيام بالوظيفة التناسلية اللاجنسية .

التناسل الجنسى : فإذا ماكانت الظروف غير ملائمة لنمو الفطرة أخذت فى إعداد نفسها لتناسل جنسى . فيأخذ خيطان متجاوران فى تكوين فرعين جانبيين ، يأخذان فى التقدم نحو بعضهما البعض حتى يلتقيا (شكل ٢٠١ : أ) ويعرفان بالحوافظ المشيجية الأولية (Progametangia) ، ثم تنقسم كل حافظة مشيجية أولية — بجدار مستعرض — إلى جزء طرفى يأخذ فى الانتفاخ ويكون حافظـــة مشيجية (Gametangium) وإلى جزء يقع تحتها يعرف بالمعلق (Suspensor) كما فى (شكل ٢٠١ : ب) . ثم تتلاشى الحـــواجز التى تفصل بين الحافظتين المشيجيتين ، وتمتزج المادة البروتوبلازمية فيهما وتتكون جرثومة لاقحية (Zygospore) ، وهى ذات جـــدار شبكى التغلظ كثير

(شكل ٢٠١)

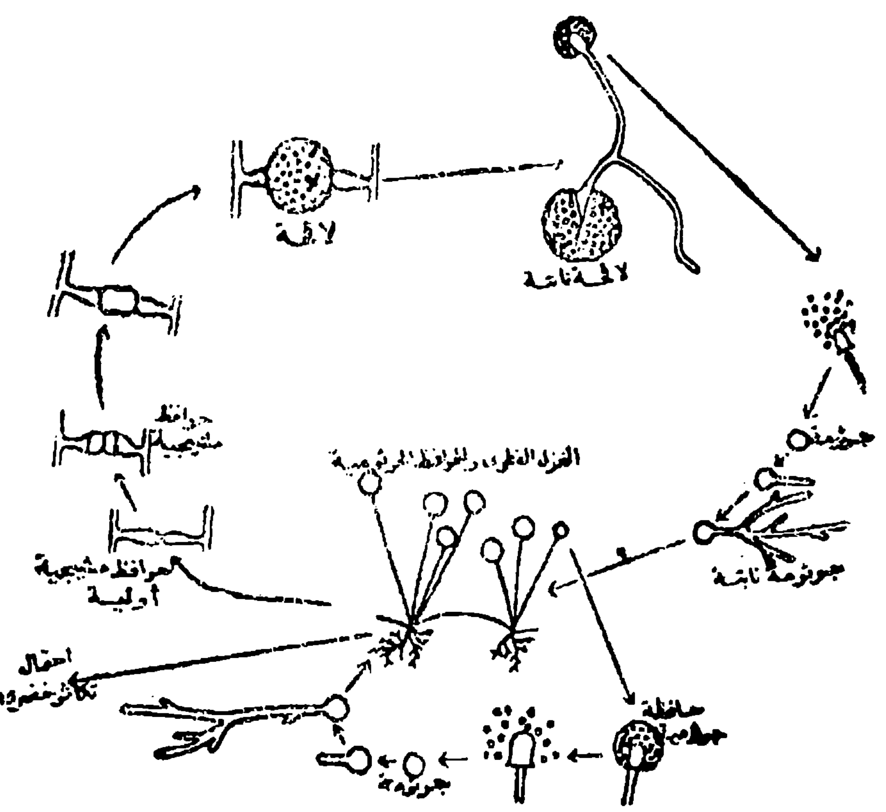


التزاوج الجنسى فى فطرة الرايزوبس يبين : (ا) الحافظتين المشيجيتين الأوليتين ؛ (ب) تميز كل حافظة مشيجية أولية إلى معلق وحافظة مشيجية ، (ج) تكوين اللاقحة نتيجة اندماج الحافظتين المشيجيتين ، (د) إنبات الجرثومة اللاقحة (عن هوبتس) .

التضاريس (شكل ٢٠١ : ج) . وتستطيع الفطرة وهى فى طور الجرثومة اللاقحية أن تقاوم كل الظروف غير الملائمة التى قد تتعرض لها ، حتى إذا ما تهيأت الظروف المناسبة من جديد أعطت كل جرثومة لاقحية أنبوبة إنبات تنتهى بتكوين حافظة جرثومية تحتوى على جراثيم لا جنسية (شكل ٢٠١ : د) ، فتأخذ الجراثيم — كما فى حالة التناسل اللا جنسى — فى التحرر من جدر الحوافظ الجرثومية ، وتنتشر فى الهواء مسببة انتشار الفطرة .

فى بعض أنواع « الرايزوبس » يحدث التزاوج الجنسى بين خيطين من نفس الغزل الفطرى ، الذى نشأ من جرثومة واحدة ، وتعرف مثل هذه الأنواع بمتشابهة الثالوس (Homothallic) ، ويبين (شكل ٢٠٢) ملخص دورة حياة نوع من فطرة الرايزوبس متشابهة الثالوس .

(شكل ٢٠٢)



ملخص دورة حياة نوع من فطرة « الرايزوبس » متشابهة الثالوس، وتبين الدائرة الكبيرة العلوية طريقة التناسل الجنسى بين خيوط من نفس الغزل الفطرى ، أما الدائرة الصغيرة السفلية فتبين طريقة التناسل اللاجنسى (عن روبنز وريكيت) .

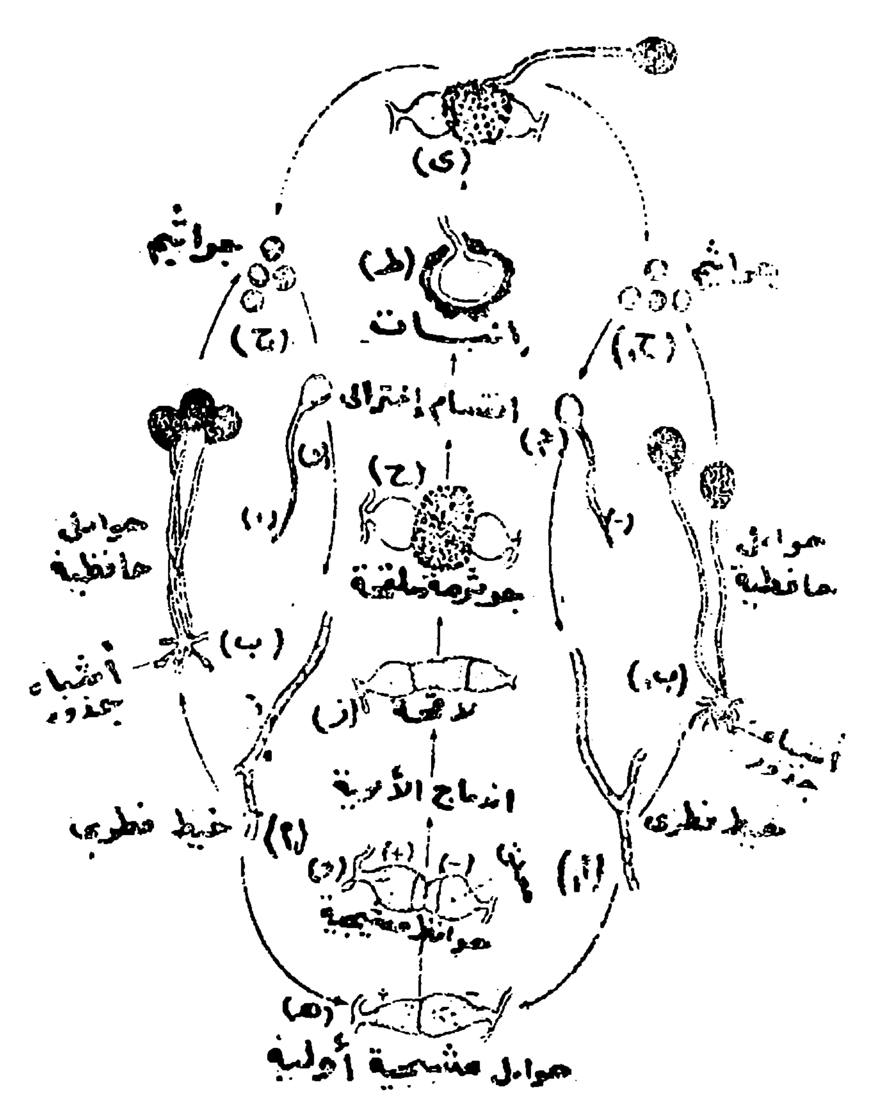
تباين الثالوس (Heterothallism) :

فى بعض أنواع أخرى من الرايزوبس – كما فى رايزوبس نيجريكانس– لا يحدث تزاوج بين خيطين من نفس الغزل الفطرى كما هو الحال فى الأنواع متشابهة الثالوس . بل يحدث بين خيطين يمتد كل منهما من غزل فطرى يتميز جنسياً عن الغزل الفطرى الآخر ، يعرف أحدهما بالسلالة الموجبة (+Strain) والآخر بالسلالة السالبة (—Strain) ، وتعرف مثل هذه الأنواع بمتباينة الثالوس (Heterothallic) ، كما تعرف الظاهرة ذاتها بتباين الثالوس . والجراثيم المتكونة داخل حافظة بوغية محمولة على غزل فطرى من سلالة معينة لا تعطى عند الإنبات إلا غزلا فطرياً من نفس السلالة ، وعند التزاوج بين خيطين من غزلين فطريين مختلفى السلالة تكون نواة الجرثومة اللاقحية الناتجة ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) ، وتحتوى على الصفتين الجنسيتين المحددتين للسلالتين – الموجبة والسالبة – مجتمعتين . وعندما تبدأ الجرثومة اللاقحية فى الإنبات لإنتاج الحافظة البوغية والأبواغ ، تأخذ نواة الجرثومة اللاقحية الثنائية المجموعة الصبغية والمزدوجة السلالة فى الانقسام ، ويكون أول انقسام لهذه النواة انقساماً اختزالياً مصحوباً بتنصيف عدد الصبغيات وانعزال الصفتين الجنسيتين المحددتين للسلالتين ، فتتكون فى بادىء الأمر نواتان ، كل منهما أحادية المجموعة الصبغية موجبة أو سالبة السلالة ، أما ما يتبع ذلك من انقسامات نووية فيكون انقساماً فتيلياً ، ومن ثم تكون الأبواغ الناتجة نصفها موجب السلالة والنصف الآخر سالب السلالة ، وعند الإنبات يعطى البوغ الموجب السلالة غزلا فطرياً موجب السلالة ويعطى البوغ السالب السلالة غزلا فطرياً سالب السلالة ومختلف الجنس ، ولا يتم التزاوج الجنسى إلا بين خيط من غزل فطرى موجب السلالة وآخر من غزل فطرى سالب السلالة ، ويبين (شكل ٢٠٣) ملخص دورة حياة رايزوبس نيجريكانس المتباين الثالوس .

(الفطريات الزقية)

يكون الغزل الفطرى فى الفطريات الزقية (Ascomycetes) مقسماً ، ويتميز بتولد جراثيم خاصـــة تعرف بالجراثيم الزقية (Ascospores) داخل كيس يعرف بالكيس الزقى أو الزق (Ascus) ، ويحتوى كل زق عادة على

(شكل ٢٠٣)



ملخص دورة حياة فطرة الرايزوبس نيجريكانس المتباين الثالوس ، وترى الجرثومتان المتباينتا الجنس (د ، د١) وقد أخذت كل منهما فى الإنبات لتعطى غزلا فطريا (ا ، ا١) يستطيع كل منهما منفصلا أن يتناسل تناسلا لاجنسيا (ب ، ب١) ، أما التزاوج الجنسى فلا يحدث إلا بين خيط الغزل الفطرى (ا) وآخر من الغزل الفطرى (ا١) كما هو مبين فى (هـ) ، ثم تتم ذلك الخطوات المبينة فى (و – ى) (عن السكسوبولوس)

ثمان جراثيم زقية . ويكون الكيس الزقى ثنائى الأنوية (Binucleated) عند بدء تكوينه ، ثم تندمج النواتان وتنتج عن اندماجهما نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) ، وتنقسم هذه النواة ثلاث مرات — أولاها انقسام اختزالى — ينتج عنه تكون ثمان أنوية أحادية المجموعة الصبغية (Haploid) ، كل نواة هى نواة جرثومة زقية ، ومن ثم فالجراثيم الزقية أصلها جنسى ، حيث تنشأ نتيجة انقسام نواة مكونة من اندماج نواتين . وتبرز من الغزل الفطرى الخضرى — وتنتظم بين الزقاق — خيوط عقيمة (Paraphyses) ، وتعرف الطبقة المكونة من الزقاق وما يتخللها من خيوط عقيمة بالطبقة الخصيبة (Hymenial layer) وتنقسم الفطريات الزقية إلى عدة مراتب بحسب المميزات الآتية :

١ — ما إذا كانت الزقاق عارية أو تنتظم داخل جدار خاص لتكون جسماً زقياً (Ascocarp) مميزاً .

٢ — شكل الجسم الزقى ، ما إذا كان كروياً (Cleistothecium) أو كأسياً (Apothecium) أو قارورياً (Perithecium) .

٣ — طريقة انتظام الزقاق داخل الجسم الزقى ، ما إذا كانت متوازية أو متناثرة فى غير ترتيب خاص .

٤ — ما إذا كان الجسم الزقى مغلقاً أو له فتحة خاصة لانتشار الجراثيم الزقية .

وبحسب هذه الصفات الرئيسية تنقسم الفطريات الزقية إلى المراتب الثلاث الآتية :

(أ) زقيات كروية (Plectomycetes) : وفيها إما أن تكون الزقاق عارية كما فى فطرة الخميرة (Saccharomyces) . أو تنتظم داخل أجسام زقية كروية الشكل ومغلقة كما فى فطرتى الأسبرجيللس (Aspergillus) والبنيسيليام (**Penicillium**) .

(ب) زقيات قرصية (Discomycetes) : وفيها تنتظم الزقاق داخل

أجسام زقية كأسية الشكل أو فنجالية ، كما فى فطرتى البيزيزا (Peziza) والأسكوبولس (Ascobolus) .

(ج) زقيات قارورية (Pyrenomycetes) : وفيها يتخذ الجسم الزقى شكل قارورة لها فتحة طرفية . كما فى فطرة « كلافيسبس بربوريا » (Claviceps purpurea) المسببة لمرض الإرجوت فى النجيليات .

وسنتحدث بالتفصيل عن دورة حياة كل فطرة من هذه الفطريات الزقية .

فطرة الخميرة

تتكون فطرة الخميرة (Saccharomyces) من خلية منفردة ، توجد حيثما وجدت المحاليل السكرية ، فهى توجد فى مختلف المواد الغذائية وفى رحيق الأزهار وعلى إفرازات الأشجار والأوراق وعلى سطوح الثمار ، كما توجد فى التربة ، ويعيش البعض منها إما متكافلا وإما متطفلا على حيوانات متعددة ، لا سيما الحشرات .

وفطرة الخميرة وحيدة الخلية ، كروية الشكل أو بيضية ، لها جدار محدد يحيط بها (شكل ٢٠٤) ، ويوجد بداخل الخلية نوية (Nucleolus) لامعة متميزة وبجانبها فجوة كبيرة تحتوى على عدة خيوط ، تعرف بالخيوط الكروماتينية (Chromatin threads) . وتمثل النوية بما يصاحبها من فجوة وخيوط كروماتينية الجهاز النووى (Nuclear apparatus) للخلية . وتوجد زيادة على ذلك فجوات جليكوجينية (Glycogen vacuoles) وحبيبات فوليوتينية (Volutin granules) ، تعد بمثابة مواد غذائية مدخرة .

تكاثر الخميرة : تتكاثر فطرة الخميرة بإحدى الطرق الآتية :

١ — **التبرعم** (Budding) : يظهر البرعم كنتوء صغير من الخليـــة ، ثم يأخذ فى التخصر تدريجياً حتى يتم انفصاله عن الخلية الأصليـة (شكل ٢٠٥ : أ) ليكون خلية بنوية ، إما أن تنفصل كلية بالتخصر لتنمو مستقلة ، أو تعطى برعماً جديداً وهى ما زالت متصلة بالخلية الأصلية ويحدث التبرعم أثناء الظروف المواتية لنمو الخلية .

٢ – جراثيم داخلية (Endospores)

قد تنقسم المحتويات الداخلية – تحت الظروف غير المواتية للنمو – إلى أربع جراثيم داخلية (شكل ٢٠٥ : ب) فتنقسم النواة مرتين لتكوين أربع أنوية ، تكون كل واحدة منها نواة جرثومة داخلية .

(شكل ٢٠٤)

فطرة الخميرة تبين النوية (ن) لصاحبها جوزة نووية (ف.ن) وخيوط كروماتينية (خ.ك) ؛ كما ترى الفجوات الجليكوجينية (ف.ج) والحبيبات الفولبوتينية (ح.ف) (عن جودون) .

٣ – الانشقاق المستعرض (Transverse fission) : ويشابه هذا الانشقاق ما يحدث في الخلايا البكتيرية ، إذ تأخذ الخلية في الاستطالة ويتخصر وسطها حتى تنفصل إلى خليتين . ويقتصر هذا النوع من الانقسام على فصيلة خاصة من فطريات الخميرة تعرف بفصيلة الخميرة المنشقة (Schizosaccharomycetaceae) .

٤ – التزاوج (Conjugation) : وقد يحدث تناسل جنسي في بعض الأنواع ، كما في خميرة شيزوسكاروما يسيس أوكتوسبوراس (Schizosaccharomyces octosporus) ، ولكنه غير شائع شيوع غيره من طرق التكاثر . وعند بدء التناسل الجنسي تقترب خليتان من بعضهما البعض وتعطي كل منهما نتوءاً أنبوبي الشكل ، ثم يتقابل النتوءان ويلتصقان وتتلاشى ما بينهما من حواجز وتندمج النواتان (شكل ٢٠٦ : أ – د) ،

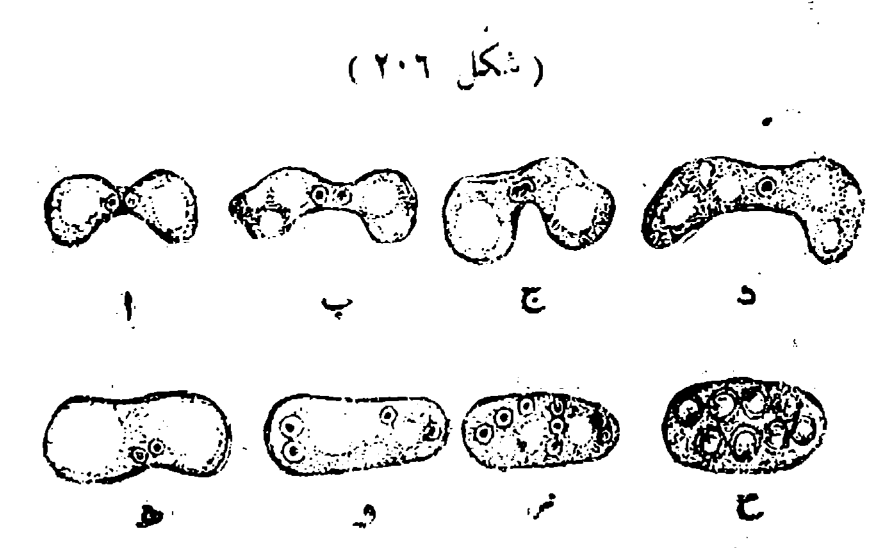
(شكل ٢٠٥)

ا ب

تكاثر فطرة الخميرة بواسطة : (ا) التبرعم ، (ب) تكوين جراثيم داخلية (عن جودون) .

فتتكون بذلك نواة ثنائية المجموعة الصبغية ، ثم تنقسم تلك النواة المزدوجة ثلاث مرات لتكون ثمانى أنوية ، كل نواة منها هى نواة جرثومة زقية (شكل ٢٠٦ : هـ – ح) . وهكذا يتكون زق عار – يحتوى على ثمان جراثيم زقية – نتيجة للتزاوج بين الخليتين .

(شكل ٢٠٦)



التزاوج الجنسى فى احدى فطريات الخميرة ، وبرى . (ا-د) تزاوج بين خليتين واندماج نواتيهما فى (د) لتكوين نواة واحدة ، (هـ - ز) ثلاثة انقسامات متتالية للنواة المندمجة لتكوين ثمان أنوية ، (ح) لتكوين ثمان جراثيم زقية (عن جويلبرموند) .

الفوائد الاقتصادية للخميرة : يعد التخمر الكحولى (Alcoholic fermen tation) أهم استغلال صناعى ، إذ تقوم فطرة الخميرة بإنتاج مجموعة من الأنزيمات تعرف بالزايميز (Zymase) لها القدرة فى غياب الأكسجين على تحويل بعض أحاديات التسكر (Monosaccharides) إلى كحول وثانى أكسيد الكربون . وتنتج عن هذه العملية – التى تتضمن تكسير السكر إلى مركبات أبسط منه – تحرير طاقة تستغلها الخميرة فى القيام بمختلف أوجه نشاطها ، حسب المعادلة الآتية :

(زايميز)

$$\text{ك}_{٦}\,\text{يد}_{١٢}\,\text{ا}_{٦} \longrightarrow ٢\,\text{ك}_{٢}\,\text{يد}_{٥}\,\text{ايد} + ٢\,\text{ك ا}_{٢} + \text{طاقة}$$

(كحول إيثيلي)

ويعلل بعض الباحثين إنتاج الكحول بوساطة الخميرة – فضلا عن استغلالها للطاقة الناتجة – بأنه بمثابة وسيلة للكفاح تستغلها الخميرة لتحارب بها منافساتها من كائنات دقيقة تشاركها الغذاء ، من بكتيريا وفطريات ، إذ ينتج عن عملية التخمر إنتاج كمية من الكحول ، تصل إلى درجة من التركيز مقاومة لنمو فطريات التعفن والبكتيريا ، بينما تستطيع الخميرة عند هذه الدرجة من التركيز مواصلة نموها .

ونباتات الخميرة ذات أهمية اقتصادية ولبعضها فوائد علاجية ، إذ تستخدم الخميرة المضغوطة كملين ، كما تستعمل بعضها كمصادر لفيتامين ب المركب ، وتضاف بعضها إلى العجينة في عمل الخبز لتخميرها . فعند إضافة الماء إلى الدقيق يعمل إنزيم الدياستيز (Diastase) الموجود به على تحويل جزء من نشا الدقيق إلى سكر ، وتعمل الخميرة على تخمير السكر ويتصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يجعل الرغيف خفيفاً منتفخاً وذا مسام .

ومن أهم الفوائد الاقتصادية لفطريات الخميرة استغلالها في صناعة الكحول ، حيث تضاف إلى المواد المحتوية على سكر ، فتعمل على تحويل ما بها من مواد سكرية إلى كحول ، ثم يقطر الكحول من المحلول المتخمر ، والمواد النباتية الخام التي تستغل تجارياً في صناعة الكحول هي :

١ – **مواد سكرية :** سكر القصب وسكر البنجر والمولاس (المحلول المتخلف بعد تبلور السكر) وعصير الفواكه .

٢ – **مواد نشوية :** نشا الحبوب والبطاطس والطرطوفة والتابيوكا .

٣ – **مواد سليلوزية :** الخشب ومحلول الكبريتيت المتخلف عن تحضير عجينة الورق من لب الخشب .

ولما كانت القدرة الإنزيمية لفطريات الخميرة لا تستطيع إنتاج الكحول إلا من سكرات سداسية (Hexoses) ، فإن طريقة التحضير تتباين باختلاف المادة النباتية الخام المستعملة ، فإن كانت مادة سكرية فتضاف إليها

مباشرة فطرة الخميرة ، أما إذا كانت مادة نشوية أو سليلوزية فلابد من إتمام تسكرها قبل بدء عملية التخمير ، أى تحويلها إلى سكر ، ويتم ذلك إما باستغلال الطرق الكيميائية بالتحلل المائى (Hydrolysis) أو بعملية تسكر إحيائية ؛ حيث تستطيع الإنزيمات المستخلصة من بعض الفطريات إتمام تحول النشا والسليلوز إلى مواد سكرية .

وتختلف المادة النباتية الخام المستعملة فى صناعة الكحول تجارياً باختلاف البلدان ، ففى الولايات المتحدة الأمريكية يستعمل المولاس (المحلول المتخلف بعد تبلور السكر واستخلاصه من عصير قصب السكر أو البنجر) ونشا الحبوب . وفى ألمانيا يستعمل نشا البطاطس ، وفى فرنسا سكر البنجر ، أما فى السويد — حيث تكثر الأخشاب وتستخلص منها عجينة الكبريتيت المستعملة فى صناعة الورق — فيحضر الكحول تجارياً من المحلول السليلوزى المتخلف عن هذه الصناعة ، وفى إيطاليا يستغل سكر البنجر والمولاس والأعناب ، أما فى جمهورية مصر العربية فتقوم صناعة الكحول على استغلال المولاس وعصير الفواكه المتعفنة .

وتربى بعض فطريات الخميرة فى مزارع صناعية وتستغل فى تحضير المشروبات الكحولية كالبيرة والنبيذ . ففى صناعة البيرة (الجعة) تنقع حبوب الشعير فى الماء لمدة يومين أو ثلاثة عند درجة حرارة ملائمة للإنبات . وبعد إنبات الحبوب وتحويل ما بها من نشا مدخر إلى سكر بفعل إنزيم الأميليز الموجود فى الحبوب ذاتها ، تؤخذ الحبوب النابتة وتجفف عند درجة حرارة عالية كافية لإبطال عمل الإنزيم ثم تجرش البادرات النابتة المجففة وتوضع فى براميل كبيرة ، ويضاف إليها الماء ، وتغلى مع الأزهار الأنثوية لنبات حشيشه الدينار ، الذى يرجع إليه الفضل فيما تكتسبه البيرة من نكهة ومرارة . وبعد تبريد المخلوط تضاف إليه خميرة البيرة فيتحول السكر إلى كحول وثانى أكسيد كربون . وتتوقف جودة البيرة الناتجة على الأنواع المستعملة من نباتات الخميرة والشعير وحشيشة الدينار .

أما في صناعة النبيذ فتوجد جراثيم فطرة الخميرة بكثرة في الهواء المحيط بحقول الأعناب ، كما توجد الفطرة ذاتها على الثمار الناضجة ، ولذلك فليس ثمة حاجة لإضافة الخميرة إلى عصير العنب ، بل يكتفى بتعريض العصير للهواء فتتخذ فطرة الخميرة وجراثيمها طريقها إليه ، وتنمو عليه بكثرة وتحول ما به من سكر إلى كحول وثاني أكسيد كربون ، ويحفظ العصير في براميل كبيرة ويترك فيها زمناً كافياً لإتمام عملية التخمر ببطء .

وتستغل بعض فطريات الخميرة بالتكافل مع البكتريا في عمليات تخمر خاصة تعرف بالتخمر التكافلي (Symbiotic fermentation) فيها تكون الخميرة والبكتيرة معاً نباتات مركبة توجد على هيئة كتل هلامية . ففي الخميرة التكافلية المعروفة باسم كفير (Kefir) — وهي تتكون من فطـــرة خميرة وبكتيرة الستربتوكوكس (Streptococcus) — لا تستطيع الخميرة بمفردها أن تؤثر تأثيراً مباشراً على سكر اللبن (Lactose) . ولكن عندما يتحول هذا السكر إلى سكر سداسي (ك٦ يد١٢ أ٦) بوساطة البكتيرة السبحية فإن فطرة الخميرة تستطيع حينئذ أن تحول السكر السداسي الناتج إلى كحول وثاني أكسيد كربون كما يأتي :

بكتيرة سبحية

(أ) سكر لبن (لاكتوز) ——← سكر سداسي (هكسوز)

خميرة

(ب) سكر سداسي ——← كحول وثاني أكسيد الكربون .

وتوجد بالمثل خميرة تكافلية مركبة — من فطرة خميرة وبكتيرة باسيلس (Bacillus) تستغـــل في المناطق الريفيـــة بأمريكا لتحويل المولاس إلى خل (حمض خليك) حسب الخطوات الآتية :

خميرة

١ — المولاس ——← كحول وثاني أكسيد الكربون .

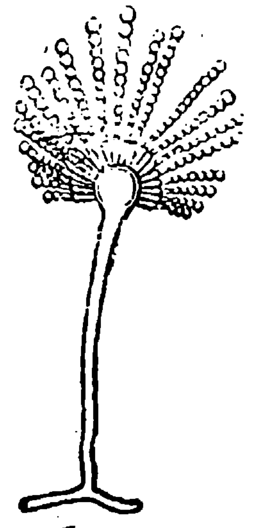
باسيلس

٢ — كحول ——← حمض خليك .

ولما كانت فطريات الخميرة غنية بمحتوياتها البروتينية والفيتامينية فهى تستعمل كغذاء ودواء ، حيث تعطى الأشخاص الذين يعانون نقصاً ملحوظاً فى البروتينات أو الفيتامينات .

أسبرجيللس

تعد الفطرة أسبرجيللس (Aspergillus) من أوسع الفطريات انتشاراً فى الطبيعة ، وهى تنمو مترممة على جميع البقايا النباتية والحيوانية المبتلة ، وتسبب تعفن الخضراوات والفواكه واللحوم وغيرها من المواد الغذائية ، كما تسبب بعض أنواعها أمراضاً جلدية وتصيب الأعضاء التنفسية فى الإنسان والحيوان ، وتستغل الطاقة الإنزيمية الإنحلالية للفطرة صناعياً لإنتاج حامضى الأوكساليك والسيتريك (الليمونيك) من السكر .



(شكل ٢٠٧)

الحامل الكونيدى الأسبرجيللس ، ويرى الرأس المتنفخ عند طرف الحامل غير المقسم ، تنبثق منه عدة ذنيبات ، يحمل كل واحد منها سلسلة من الجراثيم الكونيدية

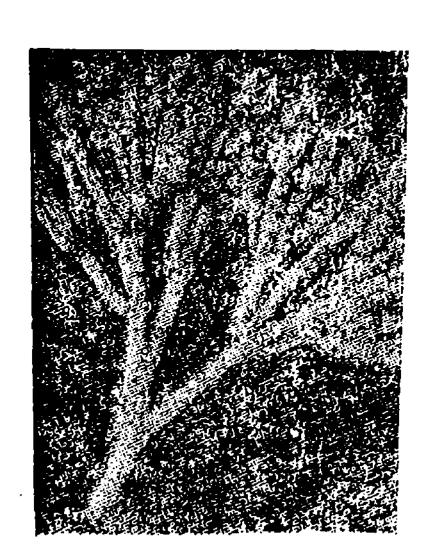
والغزل الفطرى الاسبرجيللس متفرع ومقسم داخلياً ، وتحتوى كل خلية على عدة أنوية ، وتتناسل الفطرة لاجنسياً بتكوين حوامل كونيدية (Conidiophores) قائمة وغير مقسمة عادة ، وينتفخ الحامل الكونيدى عند الطرف مكوناً رأساً مميزاً تنبثق منه عدة ذنيبات (Sterigmata) ، يحمل كل ذنيب منها سلسلة من الجراثيم الكونيدية (شكل ٢٠٧) ، تنتظم فى تعاقب قمى (Acropetal succession) ، فأصغرها حجماً تلاصق الذنيب وأكبرها تقع بعيدة عنه ، وتنفصل هذه الجراثيم بتوالى التخصر ، وتنتشر بسهولة بوساطة الرياح ، حتى إذا ما استقرت على مادة عضوية أنتجت مباشرة غزلا فطرياً

جديداً ، أما التناسل الجنسى فنادر الحدوث ويقتصر على بعض أنواع يتميز اسم الجنس فيها باليوروشيام (Eurotium) ، وينتج عن التناسل الجنسى تكوين جسم زقى كروى الشكل مغلق (Cleistothecium) تنتثر بداخله الزقاق فى غير انتظام .

بنيسيليام

البنيسيليام (Penicillium) — كالأسبرجيللس — من الزقيات الكروية ، التى تتوزع فيها الزقاق دون انتظام داخل جسم زقى كروى الشكل مغلق ، وهو أيضاً كالأسبرجيللس من أوسع الفطريات انتشاراً فى الطبيعة ، وينمو مترمماً ويسبب إتلاف الكثير من المواد العضوية ، ويوجد على الخبز المتعفن والجبن والليمون وغيره من الموالح ، وهناك نوع يسبب تعطين التفاح ، ومن أنواعه ما تعمل على إفساد المواد والأقمشة . وتسبب الفطرة العفن الأخضر (Green mould) أو العفن الأزرق (Blue mould) حسب نوع البنيسيليام المسبب للعفن . ويتم التناسل اللاجنسى بوساطة حوامل كونيدية (Conidiophores) قائمة متفرعة مقسمة داخلياً بجدر مستعرضة ، وتأخذ الأطراف النهائية للحامل الكونيدى فى التفرع ، ويحمل كل فرع نهائى ذنيبات (Strigmata) ، قد تتفرع بدورها إلى ذنيبات ثانوية (Secondary sterigmata) أو

(شكل ٢٠٨)



الحامل الكونيدى للبنسليام ، وترى الذنيبات الأولية والثانوية ، ويحمل كل ذنيب ثانوى سلسلة من الجراثيم الكونيدية ، ويبدو الحامل الكونيدى جميعه كالفرشاة أو المكنسة (عن سميث) .

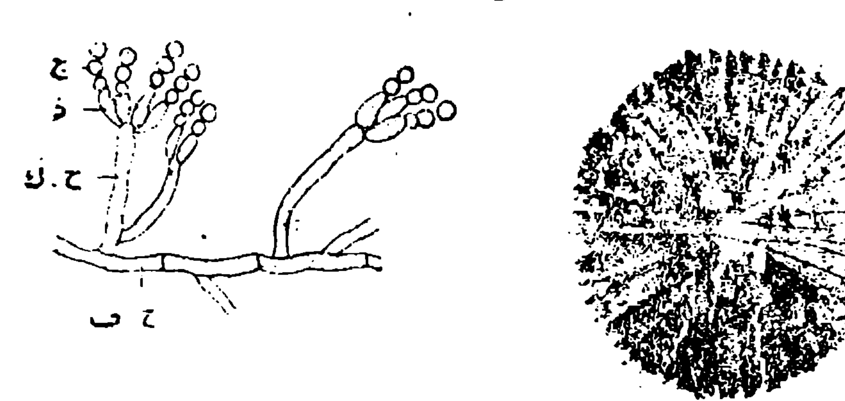
ثلاثية (Tertiary sterigmata) وهلم جرا - حسب الأنواع المختلفة للفطرة - ويحمل الذنيب الطرفى سلسلة من الجراثيم الكونيدية التى تنتظم فى تعاقب قمى (شكل ٢٠٨) ، ويشبه الحامل الكونيدى جميعه الفرشاة أو المكنسة .

وتعد فطرة البنيسيليام من أغنى الفطريات من حيث قدرتها على إنتاج الإنزيمات ، وتستغل هذه الطاقة الإنزيمية صناعياً فى تحضير بعض أنواع الجبن الممتاز ، ففى جبن روكفورت (Roquefort cheese) يستغل نوع «بنيسيليام روكفورتى » (Penicillium requeforti) فى إتمـــام نضجها ، حيث تنمو الفطرة على سطحها ومتعمقة فيها ؛ وتعمل - بفضل ماتنتج من إنزيمات - على تحويل الدهون والكربوإيدراتات والبروتين إلى مواد أخرى تضفى على هذا الجبن ما يتميز به من رائحة ونكهة وتركيب خاص ، وينمو هذا النوع من فطرة « البنيسيليام » بنجاح تحت ظروف الحرارة والرطوبة التى تختص بها كهوف الأحجار الجيرية فى إقليم « روكفورت » بفرنسا . ولما كانت هذه الفطرة هوائية - أى تحتاج إلى قدر كاف من الهواء للتنفس عندما تتعمق داخل الجبن - فإنها تحدث به عدة فجوات لتهيئ للغزل الفطرى المتعمق قدراً كافياً من الهواء . وبالإضافة إلى جبن روكفورت هناك أيضاً أنواع أخرى مثل جبن كاميمبرت (Camembert cheese) التى تستغل لإنضاجها القدرة الإنزيمية لنوع آخر من الفطرة تعرف علمياً باسم « بنيسيليام كاميمبرتى » (Penicillium camemberti) .

وقد أصبحت لفطرة البنيسيليام الآن أهمية خاصة . وامتدت شهرتها حتى عمت جميع الآفاق ، وذلك بسبب قدرة بعض أنواعها . مثل « بنيسيليام نوتاتم » (Penicillium notatum) - (شكل ٢٠٩) - « وبنيسيليام كريزوجينام (Penicillium chrysogerum) على إنتاج عقار البنيسيلين (Penicillin) وغيره من المضادات الحيوية (Antibiotics) ، إذ وجد أن فطرة البنيسيليام تستغل طاقتها الإنزيمية لتحويل بعض مكونات المنبت الغذائى الذى تنمو عليه إلى نواتج أيضية تعمل على قتل البكتيريا - أو غيرها من الميكروبات - لتحم

من نموها ومن منافستها لها فى الحصول على الغذاء ، وقد استغلت هذه الظاهرة طبياً لقتل الميكروبات المسببة للأمراض داخل جسم الإنسان ، وسنتحدث عن عقار البنيسيلين وغيره من المضادات الحيوية بالتفصيل فى باب لاحق .

(شكل ٢٠٩)



(ا) (ب)

فطرة البنيسليام نوتاتم - المنتجة للبنيسيلين - ويرى فى (ا) المظهر المزرعى للغزل الفطرى (عن كروجر) ، وفى (ب) المظهر المجهرى التفصيلى مبينا : (ح . ف) الخيط الفطرى ، (ح . ك) الحامل الكونيدى ، (د) ذنيب ، (ج) كونيدة (عن بولد)

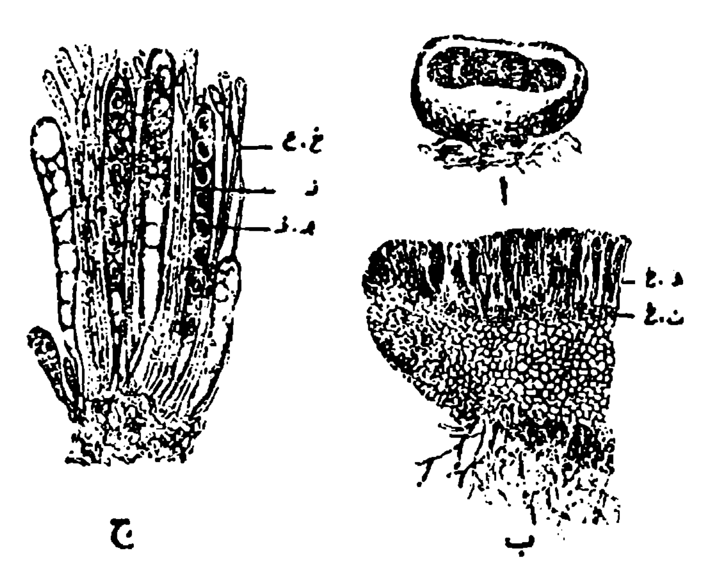
بزيزا

فطرة البزيزا (Peziza) من الزقيات القرصية (Discomycetes) ، وتعيش غالبية أنواعها مترممة على المواد العضوية فى التربة والخشب المتعطن وروث البهائم ، وجسمها الزقى كأسى الشكل جالس (شكل ٢١٠ : أ) تنتظم بداخله الزقاق مرتبة ومتوازية وتتخللها خيوط عقيمة (شكل ٢١٠ ب ، ج) ، ويحتوى كل زق على ثمان جراثيم زقية عديمة اللون مرتبة فى صف واحد (Uniseriate) ، وتكون الزقاق والخيوط العقيمة طبقة خصيبة (Hymenium) محاطة بجدار من كتلة متكاثفة من خيوط فطرية متشابكة ، وتظل الزقاق فى مستوى مواز لما يجاورها من خيوط عقيمة بعد اكتمال نضج الطبقة الخصيبة .

أسكوبولس

تعد فطرة الأسكوبولس (Ascobolus) مثلا آخر للزقيات القرصية ، وتعيش مترممة على الأنواع المختلفة من روث البهائم . وتتميز الأجسام الزقية عن مثيلاتها فى « البيزيزا » فى طريقة انتظام الثمان جراثيم الزقية داخل كل زق إذ أنها تنتظم فى أكثر من صف واحد (Multiseriate) ، وتتخذ ألواناً زاهية ، وعند اكتمال نضج الطبقة الخصيبة تأخذ الزقاق فى الاستطالة بحيث تقع فى مستوى أعلى من مستوى ما يتخللها من خيوط عقيمة .

(شكل ٢١٠)



فطرة البيزايزا ، ويرى الجسم الزقى الجالس (ا) وقطاع فيه (ب) يبين الطبقة الخصيبة ط . خ) وتحت الخصيبة (ت خ) ، وفى (ج) جزء مكبر من الطبقة الخصيبة يبين الزقاق (ز) ، داخل كل منها ثمان جراثيم زقية (ج . ز) والخيوط العقيمة (خ . ع) .

كلافيسيبس بربوريا

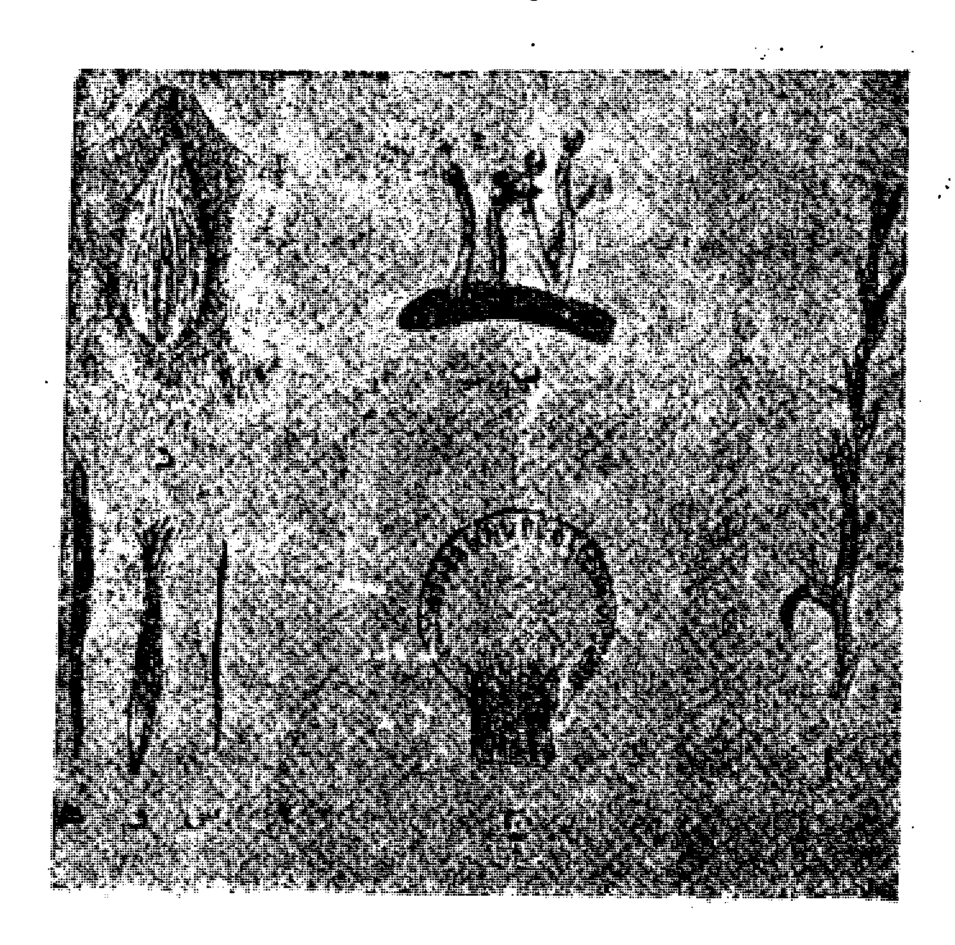
تصيب فطرة الكلافيسيبس بربوريا (Claviceps purpurea) — وهى من الزقيات القارورية (Pyrenomycetes) — الكثير من النجيليات ، مثل القمح والشعير والجويدار والشوفان ، وتوجد جراثيمها الزقية منتشرة فى الهواء ، حتى إذا ما استقرت على مياسم الأزهار نشطت وأخذت فى الإنبات

إلى داخل الحبة مكونة غزلا فطرياً داخل الحبة وهى ما تزال فى دور التكوين وتكون الحبوب المصابة عادة أكبر حجماً من الحبوب السليمة ، ولا يلبث الغزل الفطرى أن يتخلل أنسجة الحبة فيستنفد ما بداخلها ويحل بالتدريج محل محتوياتها . وتتكاثر الفطرة أثناء هذه الفترة بوساطة جراثيم كونيدية تتكون على سطح الحبة المصابة ، وتنتظم هذه الجراثيم عند أطراف حوامل كونيدية أسطوانية الشكل قصيرة تتخذ وضعاً عمودياً على سطح الحبة ، والجراثيم كلها وحيدة الخلية بيضية الشكل صغيرة الحجم ، ويصاحب تكوين هذه الجراثيم الكونيدية إفراز رحيق حلو المذاق يجذب إليه الحشرات ، التى تقوم — أثناء ارتشاف هذا الرحيق — بنقل الجراثيم إلى أزهار نباتات جديدة لتبدأ إصابات أخرى ، وهكذا دواليك .

ويحل الغزل الفطرى محل المحتويات الداخلية للحبة تماماً عندما يكتمل نضجها ، ثم يكون كتلة كثيفة سوداء صلبة تعرف بالجسم الحجرى أو السكليروشيوم (Sclerotium) ، تتخذ نفس الشكل العام للحبة ولكنها فيما بعد تفوقها حجماً . وتبرز فى وضوح من رأس الحبة (شكل ٢١١ : أ) ، وتحتوى هذه الأجسام الحجرية السوداء على مادة سامة للحيوان والإنسان . وعند تجفيفها تصبح فى صلابة الأحجار وتعرف فى علم الأقرباذين باسم « سيكال كورنيوتم » (Secale cornutum) .

وبعد إتمام الطور الكونيدى فى تاريخ حياة الفطرة تكون السكليروشيومات (أو الأجسام الحجرية) قد اكتمل نضجها ، ويكون الموسم الزراعى للنبات العائل وشيك الانتهاء ، فتتساقط هذه السكليروشيومات على الأرض ، وتبقى فى حالة سكون طول فصل الشتاء ، فإذا ما حل فصل الربيع عاودت نشاطها وأعطى كل سكليروشيوم عدداً من أجسام تعرف بالسترومات (Stromata) ، يتكون كل واحد منها من عنق طويل عقيم ينتهى برأس كروى منتفخ (شكل ٢١١ : ب) ، وتنتظم الأجسام الزقية القارورية (Perithecia) على سطح الرأس جميعه وتكون غائرة فيه (شكل

(شكل ٢١١)

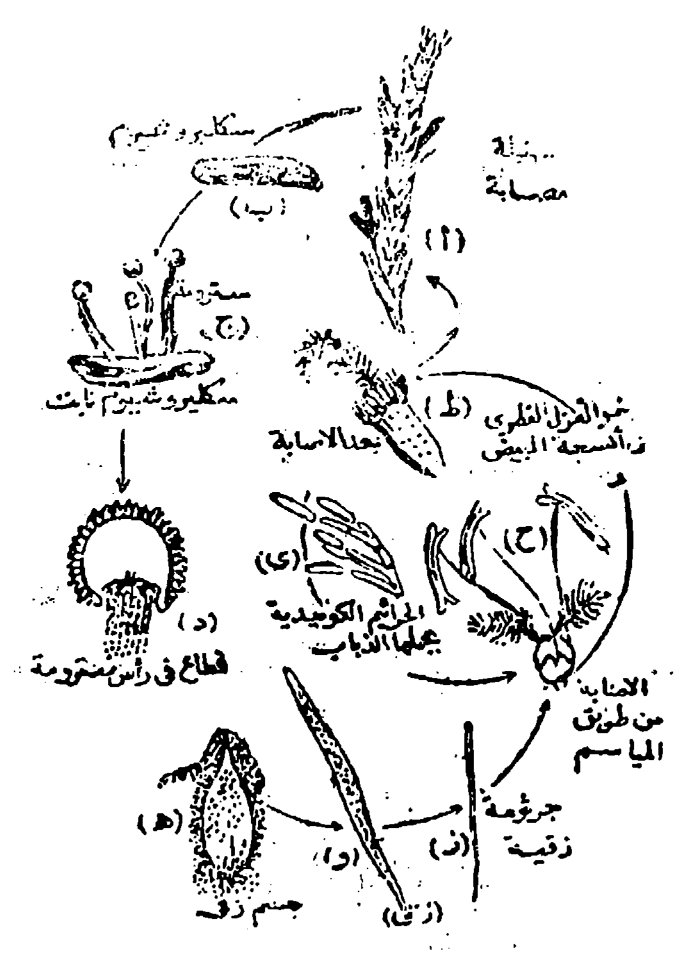


كلافيسيبس بربوريا : (ا) النبات المصاب وعليه السكليروشيومات ، (ب) سكليروشيوم نابت وعليه السترومات ، (ج) قطاع طولى فى رأس الستروما حيث تنتظم الاجسام الزقية القارورية عند الحافة ، (د) جسم زقى بداخله زقاق ، (هـ) زق بداخله جراثيم زقية ، (و) تحرر الجراثيم الزقية من الزق ، (س) جرثومة زقية إبرية الشكل .

٢١١ : ج) ، ويحتوى كل جسم زقى على عدد من الزقاق (شكل ٢١١ : د) ، يحوى كل زق منها ثمان جراثيم إبرية الشكل (شكل ٢١١ هـ – س) ، فإذا ما نضجت الزقاق تحررت منها الجراثيم الزقية فى قوة بالغة وانتشرت فى الهواء ، وحملتها الرياح فى الموسم الزراعى التالى إلى نبات عائل فتستقر على مياسم الأزهار لتعيد من جديد دورة الحياة ، ويبين (شكل ٢١٢) ملخص دورة حياة الفطرة .

ويعرف المرض المسبب عن هذه الفطرة بمرض الإرجوت (Ergot)

(شكل ٢١٢)



ملخص دورة حياة « كلافيسبس بربوريا » يبين : (ا) سنبلة مصابة تحمل أجساماً حجرية أو سكلير وشيومات ، (ب — ز) انبات السكليروشيوم وإنتاج الجراثيم الزقية ، (ح — ى) إصابة النبات عن طريق مياسم الأزهار وإنتاج الجراثيم الكونيدية التى تحملها الحشرات لإحداث إصابة جديدة (عن ناسن)

(disease ، ويسبب وجوده فى النبات العائل نقصاً فى المحصول ورداءة فى الصنف . وبالإضافة لما تسببه الفطرة للنبات من أضرار ، فهو مرض خطير بالنسبة للإنسان والحيوان حيث يسبب لهما مرضاً يسمى بالتسمم الإرجوتى (Ergotism) . ولمستخلصات هذه الفطرة قيمة طبية ، حيث تحتوى على مواد تسبب إحداها انقباض العضلات غير الإرادية وتسبب أخرى تخصر الأوعية الدموية ، وتحدث المادة الأولى الإجهاض فى الماشية بسبب استحثاثها لانقباض الرحم ، وتستغل طبياً لتعاود أرحام الأمهات انقباضها الطبيعى بعد الولادة .

وتسبب التغذية المستمرة للمواشى على حبوب مصابة بالإرجوت مرضاً لها يعرف باسم الإرجوت الغنغارينى (Gangrenous ergotism) ، وتتمثل أعراض هذا المرض فى ليونة وتاكل الحوافر وأطراف الذيول والآذان ، وسقوط الشعر والأسنان ، ولا تلبث الماشية المصابة إلا قليلا حتى يعتريها الهزال ويحيق بها الهلاك .

وقد ثبت وجود مركبين فعالين فسيولوجيا فى مستخلصات الإرجوت ، أحدهما هو الهيستامين (Histamine) المسبب لانقباض العضلات ، والآخر قلوانى يعرف باسم هيدروكسى فينايل إثيل أمين(Hydroxyphenyl ethylamine) يسبب زيادة كبيرة فى ضغط الدم ، ويستعمل الإرجوت طبياً لتسهيل الولادة والإقلال من النزيف الذى يعقبها بسبب تأثيره القابض على الرحم ، وقد يعطى للإجهاض ، إلا أن استعماله للغرض الأخير من الخطورة بمكان .

الفطريات البازيدية

تختلف الفطريات البازيدية (Basidiomycetes) عن الفطريات الزقية من حيث طريقة انتظام الجراثيم الجنسية المميزة لها ، والتى تعرف بالجراثيم البازيدية (Basidiospores) ، إذ تنتظم هذه الجراثيم خارج الخلية الوالدة المنتجة لها ، والتى تعرف بالكيس البازيدى أو البازيديوم (Basidium) .

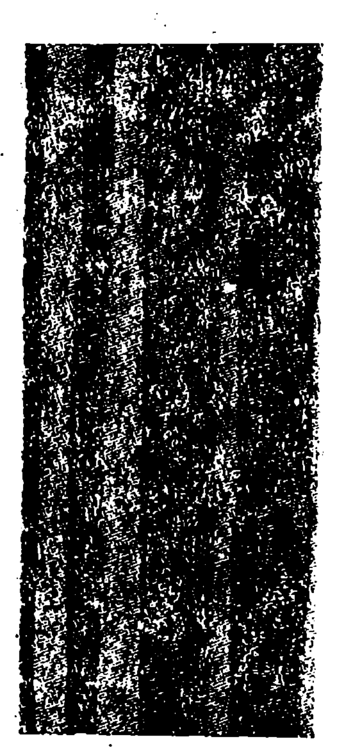
وسنقتصر فى الفطريات البازيدية على دراسة تاريخ حياة فطرة متطفلة هى « باكسينيا جرامينيس » (Puccinia graminis)) وفطرة مترممة هى عيش الغراب (Agaricus) .

باكسينيا جرامينيس

تعيش فطرة الباكسينيا جرامينيس (Puccinia graminis) متطفلة ، وتتم دورة حياتها على نباتين عائلين مختلفين ، أحدهما نبات نجيلى — كالقمح والشعير والشوفان — والآخر إما أحد أنواع البربرى هو « بربريس

فولجاريس « (Berberis vulgaris) أو « الماهونيا أكويفوليم » (Mahonia aquifolium) ، وتتمثل أعراض المرض على القمح — أو غيره من النجيليات — بظهور بثرات مستطيلة برتقالية اللون فى أوائل موسم الإنبات تعرف بالبثرات اليوريدية (Uredosori) ، وتظهر فى آخر الموسم بثرات مستطيلة بنية داكنة أو سوداء اللون هى البثرات التيليتية (Teleutosori) ، وتوجد البثرات اليوريدية والتيليتية على الأوراق وأغماد الأوراق والساق وقنابع الأزهار (شكل ٢١٣) ، ولكن تسود الإصابة عادة الأوراق والساق ويعد هذا من أسباب خطورة المرض لأن السيقان المصابة تموت أنسجتها وبذلك يقف مدد الغذاء إلى السنابل فتضمر الحبوب ، وتتوقف درجة ضمورها على شدة الإصابة وميعاد ظهورها . ولما كان أكثر الأجواء ملاءمة لانتشار المرض هو الجو الدافىء الرطب ، فإن انتشاره يكثر فى منطقة الدلتا ، وخاصة فى الجهات الشمالية منها ، ويقل بالتدريج كلما اتجهنا جنوباً حتى يكاد ينعدم كلية فى أعالى الصعيد .

(شكل ٢١٣)



المظهر الخارجى لبثرات فطرة الصدأ الأسود على الساق والأوراق .

ويصيب مرض الصدأ الأسود القمح الهندى ، أما القمح البلدى فمنيع ، ويبلغ متوسط الخسائر التى يسببها للقمح الهندى سنوياً فى القطر المصرى حوالى ٥ ٪ إلى ٨ ٪ من المحصول فى السنوات العادية ، وقد يصل أحياناً إلى حوالى ٢٠ ٪ ، على أن بعض الحقول شديدة الإصابة قد تصل نسبة نقص المحصول فيها إلى ٥٠ ٪ أو أكثر ، وتقدر الخسارة المادية بحوالى مليون ونصف مليون جنيه سنوياً .

وتبدأ إصابة القمح فى باكورة موسم النمو بوساطة جراثيم منتشرة فى الهواء ، هى الجراثيم اليوريدية (Uredospores)

أو الجراثيم الأسيـــدية (Aecidiospores) ، فإذا ما استقرت الجرثومة على سطح ورقة القمح أو غيره من النجيليات — وتهيأت لها الظروف المناسبة للإنبات — انبثقت منها أنابيب إنبات (Germ tubes) واتخذت طريقها داخل الثغور إلى أنسجة النبات الداخلية . ولما كانت كل جرثومة — سواء أكانت يوريدية أو أسيدية — وحيدة الخلية ثنائية الأنوية ، فإن كل خلية من خلايا الغزل الفطرى المتطفل تحتوى أيضاً على نواتين منفصلتين ، ويتقدم الغزل الفطرى المتطفل فى المسافات البينية بأنسجة العائل ، مرسلا ممصات (Haustoria) إلى داخل الخلايا ذاتها ليمتص منها ما يحتاج إليه من مواد غذائية حتى يستنفد محتوياتها ويسبب موتها .

الجراثيم اليوريدية (Uredospores) : يزدهر نمو الفطرة باستنفادها للمحتويات الغذائية للنبات العائل ، ثم تأخذ فى التكاثر لا جنسياً لتحافظ على نوعها ، شأنها فى ذلك شأن غيرها من الكائنات ، فيتجمع الغزل الفطرى تحت البشرة مباشرة ويزداد تفرعه ازدياداً ملحوظاً ، وتتكون جراثيم يوريدية عند أطراف الخيوط الفطرية ، ولا تلبث البشرة — التى تعلو البثرة اليوريدية — أن تتمزق نتيجـــة للتجمع التـــدريجى للجـراثيم اليوريدية وازدياد أحجـــامها (شكل : ٢١٤) ، وتتعرض البـثرات اليوريدية للخـارج كبثرات برتقـالية

(شكل ٢١٤)

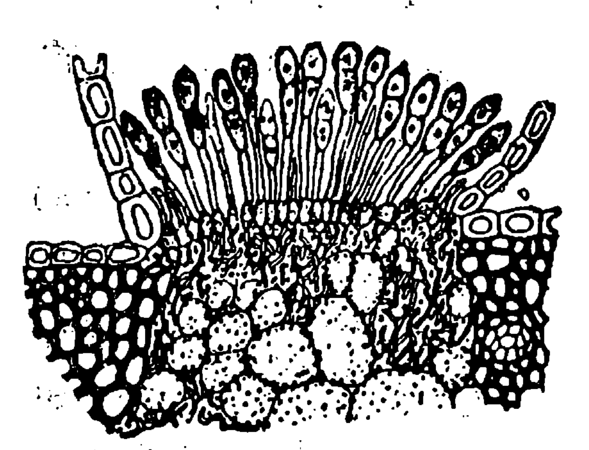
قطاع فى نصل ورقة قمح مصاب بفطرة الصدأ بكسينيا جرامينيس ، يبين البثرة اليوريدية والبشرة الممزقة . وترى كل جرثومة يوريدية مكونة من خلية واحدة ثنائية الأنوية ولها عنق طويل (عن هوبت)

اللون . والجرثومة اليوريدية بيضية الشكل برتقالية اللون معنقة ، وهى تتكون من خلية واحدة بداخلها نواتان منفصلتان ، ولها جداران ، جدار خارجى مسنن وغليظ وجدار داخلى رقيق ، ولها عدد من ثقوب الإنبات (Germ pores) فى جزئها الأوسط ، تنبثق منها فيما بعد أنابيب الإنبات .

وتنفصل الجراثيم اليوريدية بسهولة عن البثرات وتنتثر بوساطة الرياح لتصيب نفس العائل أو عوائل أخرى جديدة من النجيليات ، وتتكرر هذه العملية عدة مرات أثناء موسم إنبات القمح . ويتوقف مدى انتشار الفطرة المتطفلة على طبيعة الظروف الجوية السائدة ، فوظيفة الجراثيم اليوريدية هى العمل على إكثار الفطرة وانتشار المرض أثناء موسم إنبات القمح أو غيره من النجيليات .

الجراثيم التيليتية (Teleutospores) : تستمر الفطرة فى إنتـــاج بثرات يوريدية ماظل نبات القمح — أو غيره من النجيليات — فى حالة خضرية جيدة وعندما يقارب النبات العائل مرحلة النضج تستجيب الفطرة التغيرات الأيضية فى النبات بإنتاج نوع آخر من الجراثيم تعرف بالجراثيم التيليتيـة تتكون فى بثرات (شكل ٢١٥) بنية داكنة اللون تسمى البثرات التيليتية . وتتكون كل جرثومة تيليتية من خليتين بينهما انقباض بسيط ، وتحتوى كل خلية — وهى صغيرة — على نواتين يندمجان فى نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) عند اكتمال نضج الجرثومة . والجرثومة التيليتية معنقة ولها قمة مدببة ، وجدارها الخارجى غليظ ذو لون بنى داكن ، مما يضفى هذا اللون على البـثرة التيليتية جميعها

(شكل ٢١٥)



قطاع فى نصل ورقة نبات قمح مصابة بفطرة الصدأ بكسينيا جرامينيس ، يبين البثرة التيليتية والفطرة المتطفلة ، وترى كل جرثومة تيليتية مكونة من خليتين ولها عنق طويل (عن هوبت)

ولا تلبث الجراثيم التيليتية أن تتساقط على الأرض بعد انتهاء موسم النمو ، وتستمر فترة مستقرة فى التربة ، حيث تحتاج هذه الجراثيم لفترة سكون قبل أن تعاودها القدرة على الإنبات ، ويتباين مدى هذه الفترة باختلاف الظروف البيئية .

الجراثيم البازيدية (Basidiospores) : عندما تبدأ الجرثومة التيليتية فى الإنبات ، تعطى كل خلية أنبوبة تنبثق من ثقب إنبات ، وتحتوى كل خلية تيليتية على ثقب إنبات واحد . ويقع ثقب الخلية العليا عند قمتها المدببة ، وثقب الخلية السفلى على أحد الجانبين تحت الجدار المستعرض الفاصل بين الخليتين مباشرة (شكل : ٢١٦) ، وتنزلق كل خلية — وهى ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) — إلى داخل أنبوبة الإنبات ، حيث تنقسم انقسامين متتاليين ، أولهما انقسام اختزالى يختزل فيه عدد الصبغيات (Chromosomes) إلى النصف وتنتج أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية (Haploid) فى كل أنبوبة إنبات ، وتتحول الأخيرة بالتدريج إلى بازيديوم (Basidium) تتكون بداخله حواجز مستعرضة بين الأنوية ، وبذلك ينقسم البازيديوم إلى أربع خلايا بازيدية (Basidial cells) ، تحتوى كل واحدة منها على نواة واحدة وحيدة المجموعة الصبغية ، ثم ينبثق من كل خلية بازيدية نتوء أو ذنيب (Sterigma) ينتهى بانتفاخ كروى الشكل تنتقل إليه نواة الخلية البازيدية ليكون جرثومة بازيدية ، وتنفصل هذه الجرثومة ، وتنتقل

(شكل ٢١٦)

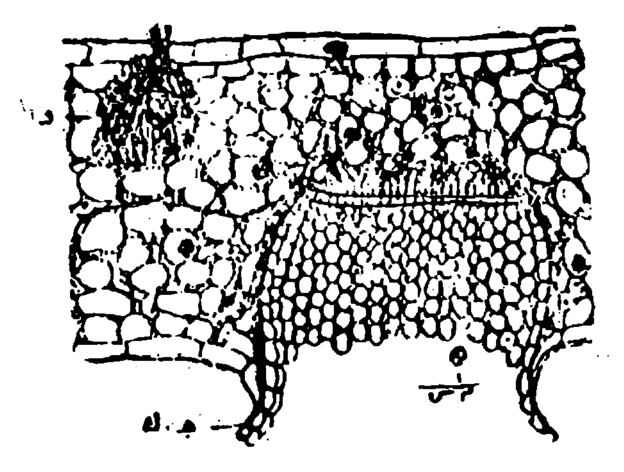
جرثومة تيليتية نابتة تبين انبثاق البازيديوم (ب) من الخلية التيليتية (خ ت) وانتظام جرثومة بازيدية (ج ب) على ذنيب (ذ) يخرج من كل خلية بازيدية .

بوساطة الرياح لتصيب نبات البربرى ؛ وهو النبات العائل الثانى فى دورة حياة فطرة الصدأ .

ويصاحب انتصاف عدد الصبغيات أثناء الانقسام الاختزالى لنواة الخلية التيليتية انعزال الصفات الجنسية ، بحيث تكون الجراثيم البازيدية الأربعة — المتكونة على كل بازيديوم — من سلالتين جنسيتين متميزتين : اثنتان من سلالة موجبة (Positive strain) والأخريان من سلالة سالبة (Negative strain).

الجراثيم البكنية والإسيدية (Pycnio & aecidio spores) : بعد أن تستقر الجراثيم البازيدية على نبات البربرى تأخذ فى الإنبات ، وتخترق أنبوبة الإنبات أدمة ورقة النبات لتعطى غزلا فطرياً داخلياً ، كل خلية من خلاياه تحتوى نواة واحدة كالجرثومة البازيدية التى نشأ منها . ولا تلبث الفطرة أن تنم عن وجودها بتكوين أوعية قارورية الشكل على السطح العلوى للورقة (شكل ٢١٧) تعرف بالأوعية البكنيدية (Pycnidia) وأخرى كأسية الشكل على السطح السفلى عادة تعرف بالكؤوس الإسيدية (Aecidial cups) . أما الأوعية البكنيدية فتحتوى على خيوط خصيبة تعرف بالخيوط البكنيدية (Pycnidial hyphae) ينتهى كل خيط منها بسلسلة من الجراثيم البكنية وتتخللها خيوط عقيمة (Paraphyses) ، كما أن هناك نوعاً ثالثاً من الخيوط تعرف بخيوط الاستقبال (Receptive or flexuous hyphae) تبرز للخارج من فتحة الوعاء البكنيدى .

(شكل ٢١٧)



قطاع فى ورقة نبات البربرى يبين الوعاء البكنيدى (و . ب) على السطح العلوى والكأس الإسيدى على السطح السفلى ، وترى فى الكأس الإسيدى الجراثيم الإسيدية (م . س) وجدار الكأس (جـ . ك) . (عن بريستلى وسكوت) .

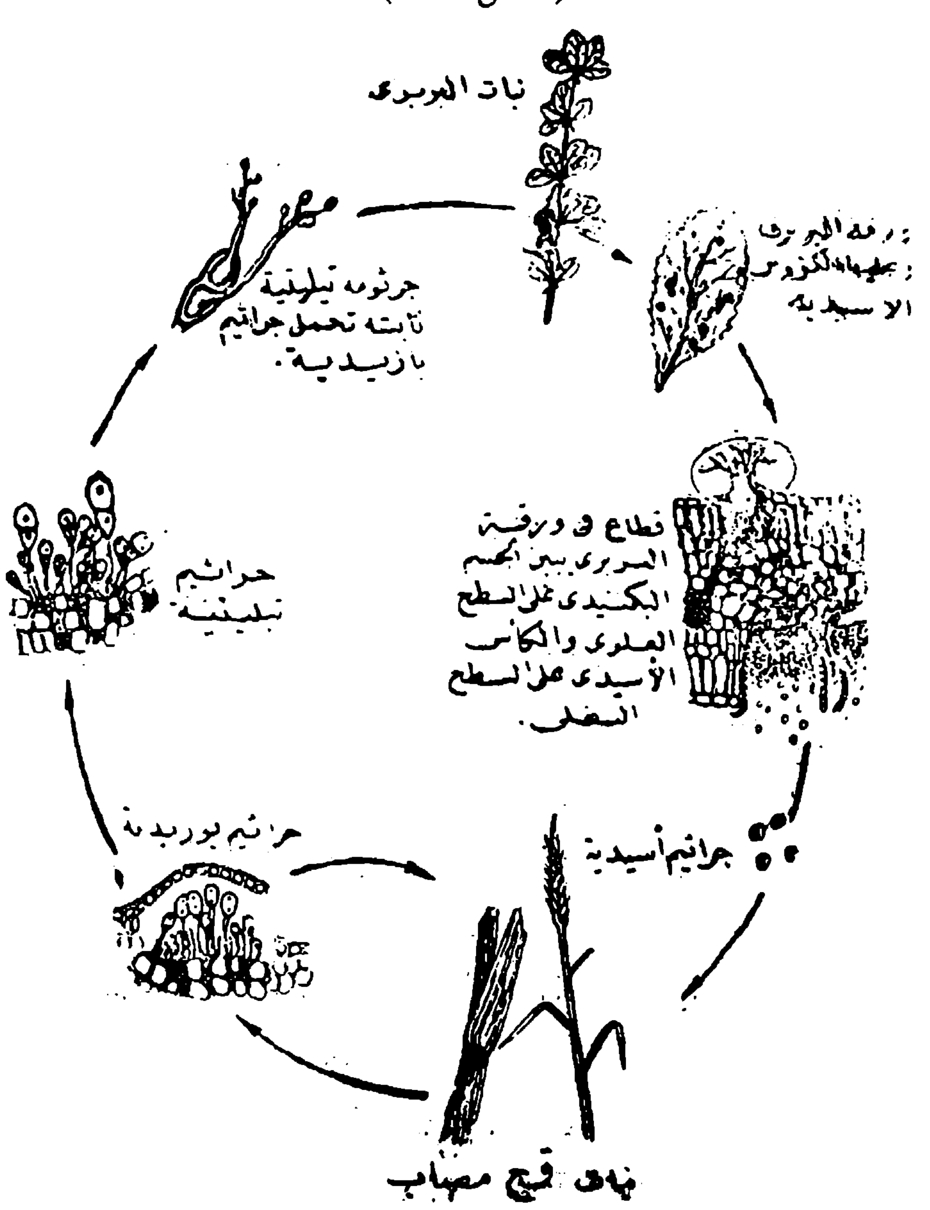
وكانت الجراثيم البكنية تعرف قبلا باسم البذيرات (Spermatia) ، وكانت وظيفتها مثار خلاف وجدل ، فكان البعض يعدها بمثابة جراثيم إضافية لتكاثر الفطرة على نبات البربرى ، مثلها فى ذلك مثل الجراثيم اليوريدية على القمح ، وكان البعض الآخر يعدها بمثابة وحدات جنسية ذكرية فقدت وظيفتها ، ولم تعد تقوم بدور فعال فى دورة الحياة . ولكن ثبت حديثاً أنها من الأهمية بمكان ، فانعزال الصفات الجنسية عند تكوين الجراثيم البازيدية ينتج عنه — عند إصابة نبات البربرى بجراثيم بازيدية متميزة جنسياً — تكوين سلالتين من الغزل الفطرى ، إحداهما موجبة والأخرى سالبة ، وبالتالى إنتاج سلالتين متميزتين من الأوعية البكنيدية . وتستقبل خيوط استقبال الأوعية البكنيدية الموجبة السلالة الجراثيم البكنية الآتية إليها من الأوعية السالبة السلالة ، أو بالعكس ، وتفرز الأوعية البكنيدية مادة رحيقية حلوة المذاق تجذب إليها الحشرات — لا سيما الذباب — لتسهيل انتقال الجراثيم البكنية بين الأوعية المختلفة الجنس ، ويحدث تزاوج جنسى بين جرثومة بكنية وخلية طرفية لخيط استقبال — مختلفى الجنس — وتنتقل نواة الجرثومة البكنية إلى الخلية الطرفية حيث تتكون خلية ثنائية الأنوية (Binucleated) ينشأ عن توالى انقسامها تكون غزل فطرى ثانوى — جميع خلاياه ثنائية الأنوية — يتجه نحو السطح السفلى لورقة البربرى حيث تنبثق منه الكؤوس الإسيدية .

أما الكؤوس الإسيدية فتكون مطمورة داخل نسيج العائل ، وتستقر فتحاتها عند سطح البشرة ، ويحاط كل كأس إسيدى بجدار عقيم مكون من طبقة واحدة من خلايا الفطرة يسمى بالجراب الثمرى (Peridium) ، ويوجد عند قاعدة الكأس صف من خلايا مستطيلة تعرف بالخلايا العنقية (Stalk cells) تنبثق من كل منها سلسلة مكونة من خلايا صغيرة تعرف بالخلايا البينية (Intercalary cells) تتبادل معهـا الجـراثيم الإسيدية ، وتتكون كل خلية بينية وجرثومة إسيدية من خلية ثنائية الأنوية . وعندما يتم نضج الجراثيم الإسيدية تأخذ الخلايا البينية فى الانحلال والاختفاء لتحرير ما بينها من جراثيم

إسيدية تنتقل بوساطة الرياح لتصيب القمح فى باكورة موسم النمو . وهكذا تعيد فطرة الصدأ دورة الحياة ، ويرى فى (شكل : ٢١٨) ملخص دورة حياة فطرة صدأ القمح .

وهكذا فالفطرة « باكسينيا جرامينيس » تمضى دورة حياتها على عائلين مختلفين ، أحدهما القمح والآخر البربرى ، ولما كان نبات البربرى غير

(شكل ٢١٨)



ملخص دورة حياة فطرة « باكسينيا جرامينيس » المسببة لمرض الصدأ الأسود للقمح .
(عن سينوت)

موجود بمصر . فمن المرجح أن إصابة القمح بمرض الصدأ تتسبب عن أحد المصادر الآتية :

١ — جراثيم الفطرة اليوريدية التي تتكون على بعض الحشائش النجيلية القابلة للإصابة بالصدأ ، حيث تمضى الفطرة فصول الصيف والشتاء .

٢ — جراثيم الفطرة اليوريدية التي تحملها الرياح من بلدان مجاورة ، يوجد بها العائل الثانى « البربرى » ، ومما يعزز ذلك تشابه سلالات الفطرة الفسيولوجية فى مصر وفيما جاورها من البلدان .

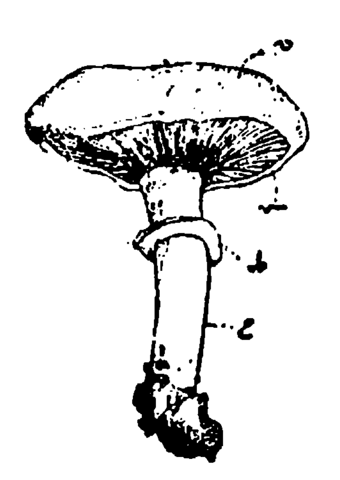
وأفضل طريقة لمقاومة هذا المرض هى إيجاد أصناف منيعة من الأقماح ، كما يعمل التبكير فى الزراعة والاعتدال فى التسميد الأزوتى والرى على الإقلال من شدة الإصابة بالمرض .

عيش الغراب

تتميز فطرة عيش الغراب (Agaricus) بتولد جراثيمها البازيدية خارج البازيديوم ، ويحمل كل بازيديوم أربع جراثيم بازيدية . وتعيش هذه الفطرة عادة مترممة فى الأوساط الدبالية ، إلا أن هناك أجناساً أخرى تنتمى إلى نفس المجموعة التصنيفية التى تنتمى إليها فطرة عيش الغراب ، بعضها يعيش مترمماً والبعض الآخر متطفلا ، ومنها ما يعيش متكافلا مع نباتات راقية فى علاقة تعرف بالجذر فطريات (Mycorrhiza) .

ويعيش الغزل الفطرى الخضرى غالباً مطموراً فى المادة أو الطبقة التحتية التى تنمو عليها الفطرة . ويكون الغزل الفطرى فى كثير من الأحيان حولياً ، بمعنى أنه يعيش موسماً واحداً ثم يذبل ويموت بعد إنتاج الحوامل الجرثومية ، وفى أحايين أخرى يكون الغزل الفطرى معمراً ، فيعيش أعواماً طويلة منتجاً حوامل جرثومية سنوياً ، وتتجمع البازيديومات — بما تحمل من جراثيم بازيدية

(شكل ٢١٩)



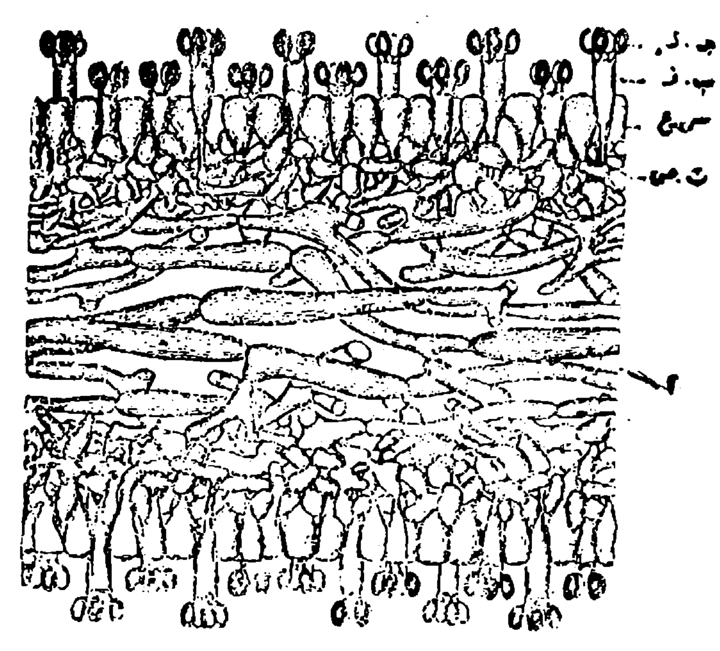
الحامل الجرثومى لفطر عيش الغراب مبينا : القلنسوة (ق)، الصفائح الخيشومية (ص) ، الطوق (ط) ، والعنق (ع) (عن روبنز وريكت) .

– فى حامل جرثومى (Sporophore) يظهر فوق سطح الأرض على هيئة مظلة . ويتكون الحامل الجرثومى من عنق (Stalk or Stipe) ينتهى عند طرفه العلوى بقلنسوة (Pileus) منتفخة وممتدة أفقياً ، وتنتظم على السطح السفلى للقلنسوة صفائح خيشومية (Gills) تبدأ من حافة القلنسوة حتى قبيل موضع اتصالها بالعنق (شكل ٢١٩) ، وهذه الصفائح هى التى تحمل البازيديومات والجراثيم البازيدية .

ويبدأ الحامل الجرثومى كانتفاخ صغير على الغزل الفطرى ، ثم يأخذ فى النمو إلى أعلى تدريجياً ، وإذا قطعنا قطاعاً طولياً فى حامل جرثومى صغير نجد أنه محاط إحاطة كاملة بغلاف يعرف بالقناع العام (Universal veil) ، ويعمل هذا القناع على صيانة المكونات الداخلية للحامل الجرثومى فى بدء التكوين ، وعندما يزداد حجم الحامل الجرثومى يتمزق القناع العام – لتخلفه عن مسايرة نمو الحامل الجرثومى – ويبقى الجزء الممزق منه عند قاعدة العنق كلفافة (Volva) ، ويتكون أيضاً قناع جزئى (Partial veil) ، يعمل على صيانة الصفائح الخيشومية – عند ابتداء تكوينها – من العوامل الخارجية الضارة ، ولا يلبث القناع الجزئى أن يتمزق عند حافة القلنسوة عندما يزداد امتدادها أفقياً ، والجزء المتبقى منه حول الطرف العلوى للعنق يعرف بالطوق (Annulus) .

ويبين قطاع عمودى على السطح السفلى للقلنسوة التركيب الداخلى للصفيحة الخيشومية (شكل ٢٢٠) ، حيث تستقر بوسطها كتلة مفككة من خيوط فطرية متشابكة تعرف بالتراما (Trama) ، تقع خارجها على كل من الجانبين طبقة من خيوط فطرية أكثر تشابكاً وتعقيداً مكونة ما يشبه الخلايا المستديرة وتسمى بالطبقة تحت الخصيبة (Subhymenial layer) ، أما أقصى الطبقات

(شكل ٢٢٠)



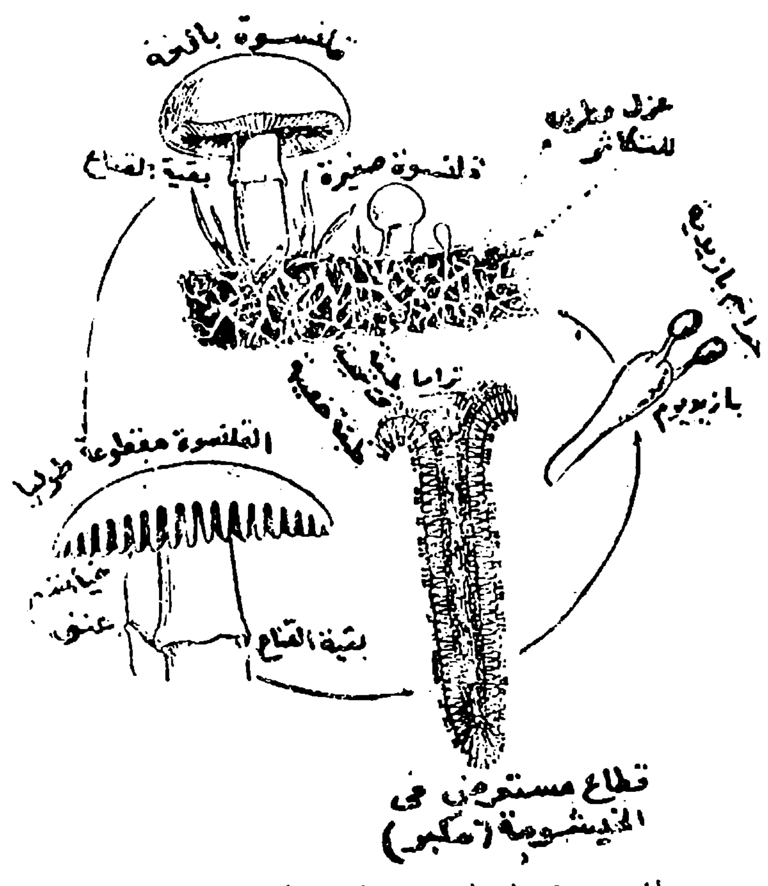
قطاع فى صفيحة خيشومية يبين من الخارج للداخل : الطبقة الخصيبة مكونة من بازيديومات (ب . ز) حاملة جراثيم بازيدية (ج . ز) وتتخللها خيوط عقيمة (س ع) ، طبقة تحت خصيبة (ت ص) ثم تتوسط الترام (م) القطاع . (عن روبنز ورنكت):

الخارجية فتعرف بالطبقة الخصيبة (Hymenial layor) وتتكون من بازيديومات مختلطة بخيوط عقيمة ، وتبرز من كل بازيديوم أربعة نتوءات أو ذنيبات (Sterigmata) ، يحمل كل منها جرثومة بازيدية . والخيوط العقيمة قد تساعد على انتشار الجراثيم البازيدية بعد أن يتم نضجها ، فيحملها الهواء إلى مسافات بعيدة ، فإذا ما سقطت على الأرض — وهيئت لها الظروف المواتية للإنبات — أعادت دورة الحياة .

ويرى فى (شكل ٢٢١) ملخص دورة حياة فطرة « عيش الغراب » .

وتستعمل الحوامل الجرثومية اللحمية لبعض أنواع عيش الغراب غذاء الإنسان . فهى الطعام الأساسى لفقراء المناطق التى تحد بحر البلطيق وشمال شرق روسيا ، وكان الفرنسيون أول من اشتغل بزراعتها لاستعمالها كمادة غذائية ومن ثم امتدت زراعتها إلى الأنحاء الأخرى من أوروبا وأمريكا وآسيا ، وهى تزرع الآن فى الغراء فى جنوب شرق انجلترا ، وأصبحت زراعتها مربحة من

(شكل ٢٢١)



ملخص دورة حياة فطرة عيش الغراب (عن فاسن) .

الوجهة التجارية ، ويستهلك الصينيون واليابانيون كثيراً من عيش الغراب فى غذائهم ، وتباع نضيرة أو مجففة أو محفوظة . إلا أن هناك أنواعاً من عيش الغراب شديدة السمية للإنسان ، مثل فطرة عيش الغراب الذبابى — المعروفة علمياً باسم « أمانيتا موسكاريا » **(Amanita muscaria)** — وتتميز بقلنسوة حمراء عليها ثآليل باهتة أو بيضاء ، وهى فطرة سامة ، إذا أكلت كمية صغيرة منها سببت صداعاً ودواراً وهذيانا ، وغالباً ما يعقب ذلك حدوث تشنج وإغماء ، أما الكميات الكبيرة منها فقاتلة . ولذلك تستعمل لتسميم الذباب والتخلص منه . ومن أجناس عيش الغراب ما تسبب تعطن الخشب (Wood rotting) فتؤدى إلى تدمير أعمـــدة التليفونات والمنازل الخشبية وفلنكات السكك الحديدية .



الباب الثامن عشر

الأشن

تعيش بعض الفطريات والطحالب معاً معيشة تكافلية تقوم على تبادل المنفعة ، وتعرف النباتات المركبة من فطرة وطحلب متكافلين معاً بالأشن (Lichens) . ولفظ (Lichenes) مشتق من لفظ إغريقي استعمله أحد علماء الإغريق القدماء للدلالة على نمو سطحي على أشجار الزيتون . والصفة البارزة للأشن هي تركيبها من كائنين مميزين ومختلفين : فطرة وطحلب . والمكونات الطحلبية للأشن إما أن تنتمي إلى الطحالب الخضر أو الخضر المزرقة . أما المكونات الفطرية فقد تكون من الفطريات الزقية في الأشن الزقية (Ascolichens) أو من الفطريات الغشائية البازيدية في الأشن البازيدية الغشائية (Hymenolichens) إلا أن غالبية الأشن تنتمي إلى الأشن الزقية ، وتقتصر الأشن البازيدية الغشائية على بضعة أجناس قليلة تعيش في المناطق الاستوائية .

المظهر الخارجي :

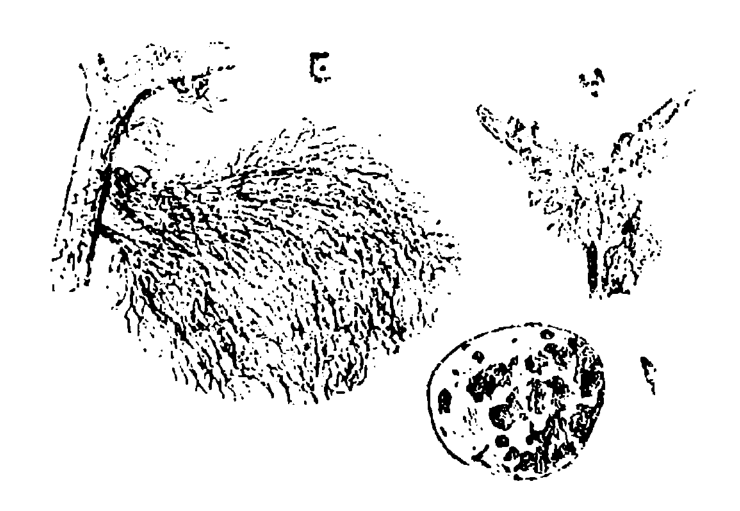
تعيش الأشن غالباً كنباتات عالقة على جذوع الأشجار أو مغطية للصخور والتربة والجدران ، وهي منتشرة في أنحاء العالم بدرجة كبيرة . فتوجد في قمم الجبال وفي المناطق الباردة والحارة والمعتدلة ، وتستطيع أن تقاوم الجفاف لدرجة كبيرة . وتتميز ظاهرياً إلى الطرز الآتية (شكل ٢٢٢) :

١ — **خيطية** (Filamentous) : وفيها تتكون الأشنة من خيوط فطرية وطحلبية متشابكة .

٢ — **قشرية** (Crustose) : ويكون الثالوس الأشني فيها على هيئة قشرة تلتصق التصاقاً وثيقاً بما تحتها من طبقة أو صخرة .

٣ — **ورقية** (Foliose) : ويكون الثالوس الأشني فيها مفلطحاً وشبيهاً بالورقة ، مفصصاً أو عميق التفصص ، يتصل بما تحته اتصالا غير وثيق بأشباه جذور .

(شكل ٢٢٢)



الطرز المختلفة من الأشن : (ا) القشرية ، (ب) الورقية ، (ج) الشجيرية (عن فرلش وسالسبورى)

٤ — **شجيرية** (Fruticose) : وفيها يكون الثالوس الأشنى إما قائماً أو مدلى ، وله قاعدة محددة تعمل على تثبيته بالدعامة التى يرتكز عليها .

التركيب الداخلى :

فى أبسط الأنواع تكون الأشنة خيطية ، بمعنى أنها تتكون من خيوط متشابكة من الفطرة والطحلب المتكافلين . أما فى الأنواع الراقية من الأشن فتكون الخيوط الفطرية هى السائدة ، وتتجمع وتتشابك لتكون نسيجاً يشبه النسيج البارنشيمى ، يحتوى بداخله على خلايا منفردة من الطحالب الخضر أو الخضر المزرقة ، والخلايا الطحلبية — المنتثرة بين الخيوط الفطرية المتشابكة — كانت تعد فى وقت من الأوقات بمثابة أعضاء تناسلية للأشنة ؛ ومن ثم سميت جونيدات (Gonidia) ، وما زالت هذه التسمية مستعملة حتى الآن ولو أنها فقدت دلالتها . وبحسب مدى تشابك الخيوط الفطرية يتميز الثالوس الأشنى داخلياً إلى قشرة ونخاع (شكل ٢٢٣) ، فى القشرة يكون التشابك كثيفاً وفى النخاع يكون مفككاً . ويتميز الثالوس الأشنى إلى نوعين حسب توزيع الجونيدات أو الخلايا الطحلبية . فى أحـــد النوعين تتوزع الخلايا الطحلبية

والخيوط الفطرية توزيعاً منتظماً داخل جميع الثالوس ، وفى النوع الثانى يتحدد وجود الخلايا الطحلبية فى طبقة خاصة تعرف بالطبقة الجونيدية (Gonidial layer) ؛ فتكون هناك قشرة وطبقة جونيدية ونخاع ، أما القشرة والنخاع فلا تتكون إلا من خيوط فطرية .

(شكل ٢٢٣)

قطاع مستعرض فى أشنة (ج) متميزة داخلها إلى قشرة خارجية ونخاع وسطى ، وتنتشر الخلايا الطحلبية (غ ط) بين الخيوط الفطرية (خ . ف) ، وترى فى (ب) خلية طحلبية تتشبث بها الخيوط الفطرية ، وفى (ا) السوريدة (عن فونش وسالسبورى)

طرق التكاثر :

يتكاثر المكون الفطرى للأشنة حسب المجموعة الفطرية التى ينتمى إليها ، ففى الفطريات الزقية يكون التكاثر بوساطة جراثيم زقية ، وفى الفطريات البازيدية الغشائية (Hymenomycetes) بجراثيم بازيدية ، فإذا ما نبتت الجرثومة فى وجود الطحلب الملائم أنتجت أشنة جديدة ، ويحتاج تكوين الأجسام الثمرية الفطرية — من زقية أو بازيدية — إلى وفرة الضوء ، أما الأشن التى تعيش فى الأماكن الظليلة فتكون غالباً عقيمة . وتنفصل قطع من الثالوس — تحت ظروف غذائية خاصة — لتعطى كل قطعة أشنة جديدة . إلا أن هناك نوعاً خاصاً من تكاثر الأشن يحدث بوساطة أجزاء من الأشنة تعرف بالسوريدات (Soredia) ، وهى أجـزاء دقيقة من الثالوس الأشنى قابلة للانفصال ، وتتكون كل سوريدة (Soredium) من خليـة طحلبية

أو أكثر يحيط بها الخيط الفطرى ويتعلق ويتصل بها اتصالا وثيقاً (شكل ٢٢٣ : أ ، ب) ، وتستطيع كل سوريدة – تحت الظروف المواتية للإنبات – أن تعطى ثالوثاً أشنياً جديداً ، أى أن السوريدات تعد بمثابة أعضاء خضرية خاصة لتكاثر الأشن . وتتكون السوريدات بكثرة على سطح الأشنة على هيئة مسحوق دقيق ، ينتثر بسهولة بوساطة الرياح أو الماء ، ولا تلبث الأشنة الناتجة عن إنباتها أن تظهر فى أية تربة معراة ملائمة .

العلاقة الفسيولوجية :

تبدو العلاقة بين الفطرة والطحلب المكونين للأشنة كعلاقة تبادل منفعة أو تعاون تكافلى ، فالمكونات الطحلبية (أو الجونيدات) تحتوى على مادة اليخضور ، ومن ثم فتستطيع أن تثبت غاز ثانى أكسيد الكربون – فى وجود الضوء والماء – وتمد الفطرة المعاشرة بالفائض عن حاجتها من المواد الكربوإيدراتية ، ويحصل الطحلب مقابل ذلك على احتياجاته من الأملاح المعدنية وغيرها من الفطرة التى تمتص خيوطها هذه المواد من التربة وتنقلها إلى داخل الثالوس الأشنى . وتقوم الخيوط الفطرية بوظيفة غطاء يحيط بالجونيدات الطحلبية ويعمل على صيانتها . وفى الأشن التى ينتمى فيها المكون الطحلبى للطحالب الخضر المزرقة يكون الجدار الهلامى للطحلب ذا قابلية عظيمة لامتصاص الرطوبة الجوية والاحتفاظ بها ، ولذلك تستطيع هذه الأشن أن تقاوم ظروف الجفاف وتعيش تحت أقسى الظروف الصحراوية .

الفوائد الاقتصادية :

تعد الأشن من الأهمية بمكان من الوجهة البيئية ، فهى تستطيع أن تقاوم الجفاف وغيره من ظروف بيئية قاسية ، فتنمو فى الأماكن القاحلة التى تعجز غيرها من النباتات عن المعيشة فيها ، وتبدل بالتدريج من خواص التربة القاحلة بما تحدثه فيها من تغيرات تمهيداً لظهور غيرها من نباتات أرقى منها ، فمثلا تعمل غالبية الأشن القشرية على إذابة وتفتيت ما تحتها من صخور بما تفرزه

أشباه الجذور من أحماض . وتزيد الأشن بعد موتها وتراكمها المحتويات العضوية للتربة وترفع من درجة خصوبتها .

وتحتوى بعض الأشن ، لاسيما أشنة روسيللا تينكتوريا **(Rocella tinctoria)** على مواد ملونة تستغل غالباً فى صباغة المنسوجات ، كما تحضر من الأشن بعض الأصباغ مثل صبغ الأورسين وعباد الشمس (Litmus) .

وتستعمل بعض الأشن كغذاء للإنسان أو الحيوان ، ومن الأشن التى تستغل كغذاء للإنسان الأشنة « ستراريا أيسلنديكا » **(Cetraria islandica)** ، المعروفة عادة باسم الحزازى الإيسلندى (Ireland moss) ، التى تجمع وتنقع فى الماء للتخلص مما بها من مواد مرة المذاق ثم يجفف الثالوس الأشنى وتستخلص منه مادة كربوإيدراتية تعرف باسم الليكينين (lichenin) ، تذوب فى الماء الساخن وتعطى عند التبريد مواد هلامية شبيهة بالجيلاتين ، تضاف إلى اللبن لتعطى شراباً مرطباً عالى القيمة الغذائية ، ويقال أن من بنى إسرائيل الذى أنزل من السماء — وذكر فى القرآن — هو أشنة « ليكانورا اسكيولنتا » **(Lecanora esculenta)** ، وهذه الأشنة تكسو سطح التربة فى أنحاء شتى من العالم . وثبت أن بعض الأشن تستطيع إنتاج مضادات حيوية مثل الأيرسين وحمض الأوزنيك ، وللبعض منها تأثير مميت على ميكروبات مرض السل (الدرن) .

الباب التاسع عشر

علم الفطريات الطبية

يهدف علم الفطريات الطبية (Medical mycology) إلى دراسة الفطريات التي تسبب الأمراض للإنسان ، من حيث الأعراض والتأثيرات ، ومن حيث إيجاد سبل المقاومة والعلاج . كما يهدف إلى الاستغلال الطبي لما تنتجه الفطريات من فيتامينات وبروتينات وإنزيمات ومضادات حيوية ، وغيرها من مواد ، لتزيد من مقاومة الإنسان للأمراض أو لتسبغ عليه نعمة الشفاء .

ويطلق لفظ فطريات بوجه عام ليشمل جميع الثالوسيات غير اليخضورية من فطريات حقيقية (Eumycetes) وفطريات شعاعية (Actinomycetes) وتعد الفطريات الأخيرة بمثابة حلقة وسطى بين البكتيريا الحقيقية والفطريات الحقيقية ، إذ يتراوح تركيب الثالوس فيها — حسب الفصائل التي تحتويها — بين خلية عصوية متفرعة أكثر صلة بالبكتيريا منها بالفطريات ، كما هو الحال في ميكروب الدرن أو السل (Tuberculosis) والمعروف علمياً باسم « ميكوباكتيريم تيوبركيولوسيس » (Mycobacterium tuberculosis) وبين طراز من الثالوس الخيطي ، قد يكون غير متفرع وبدائياً وينفصل بسهولة إلى وحداته الخلوية الشبيهة بالبكتيريا ، كما في كل من الجنسين أكتينوميسيز (Actinomyces) ونوكارديا (Nocardia) ، أو يكون متفرعاً وثابت الخيطية — كما هو الحال في الفطريات الحقيقية — مثل جنس « ستربتوميسيز » (Streptomyces) الذى تنفرد أنواعه المختلفة بالقدرة على إنتاج الستربتومايسين والأوريوميسين والتراسيكلين وغيرها من مضادات حيوية ميسينية .

ويمكن تقسيم الأمراض الفطرية التي تصيب الإنسان ، حسب تصنيف مسبباتها ، تحت المجموعتين الآتيتين :

(أ) أمراض فطرية شعاعية (Actinomycetous diseases) .

(ب) أمراض فطرية حقيقية (Eumycetous diseases) .

والأمراض الفطرية الشعاعية مسببة عن الإصابة بإحدى الفطريات الشعاعية ، وهى طراز من الفطريات — كما سبق القول — تتوسط فى خواصها البكتيريا والفطريات الحقيقية ، فهى تشارك البكتيريا الحقيقية فى بساطة تركيبها ودقة أحجامها واستجابتها لصبغة جرام وصمودها للأحماض وفى بعض الاستجابات الفسيولوجية ، كما تشارك الفطريات الحقيقية فى نزعتها لتكوين وثبوت أغزالها الفطرية وزيادة تعضى خلاياها الفطرية والقدرة على تكوين وحدات تكاثرية ، وبالإضافة إلى الأمراض الخطيرة التى يسببها جنس ميكوباكتيرم (Mycobacterium) الوحيد الخليــة ، مثل مرضى الدرن والجذام (Leprosy) ، فهناك جنسان من الفطريات الشعاعية الخيطية يسببان أمراضاً إنسانية بوجه خاص . وهما جنس « الأكتينوميسيز » (Actinomyces) الذى يسبب المرض المعروف باسم المرض الفطــرى الأكتينوميسيزى (Antinomycosis) وجنس « نوكارديا » (Nocardia) ويسبب المــرض الفطرى النوكاردى (Nocardiosis) .

والفطريات الحقيقية المسببة للأمراض الإنسانية موزعة بين مختلف تحت طوائفها التصنيفية (جدول ١٢) ، فيما عدا تحت طائفة الفطريات البازيدية (Basidiomycetes) ، وتتميز أنواعها التى تسبب للإنسان إصابات داخلية بأنها ثنائية التشــكل (Dimorphic) ، لا سيما فطريات الخميرة بالذات ، إذ تتميز هذه الفطريات بأنها تنمو داخل الأجساد الإنسانية — عند درجة ٣٧° م — على هيئة خلايا فردية متبرعمة ، مثلها فى ذلك كمثل خلية خميرة وحيدة الخلية ، ولكن إذا عزلت من هذه الأجساد الإنسانية وأمكن تنميتها على منابت غذائية أجارية — عند درجة حرارة منخفضة نسبياً وموائمة لنموها — استردت شكلها الخيطى المميز لها ، وأمكن التمييز بين مختلف أجناسها وأنواعها ، وذلك من حيث المميزات الشكلية والمزرعية والفسيولوجية ،

لا سيما فيما يختص بتباين استجاباتها الإنمائية لمختلف المواد الكيميائية والمضادات الحيوية ، مما يمهد الطريق لإيجاد السبل الكفيلة لمقاومة أضرارها أو القضاء عليها ويرجع هذا التشكل الثنائى لنفس الفطرة إلى اختلاف الظروف البيئية والفسيولوجية داخل الأجساد الإنسانية وفى المنابت الغذائية الأجارية .

جدول رقم (١٢)

أمثلة لبعض الأمراض الإنسانية المسببة عن فطريات حقيقية، حسب توزيعها فى مختلف تحت طوائفها ، مع تبيان الإسم العلمى للمسبب الفطرى .

تحت الطائفة [Sub Class]	إسم المرض	المسبب الفطرى
فطريات طحلبية [Phycomycetes]	مرض فطرى ميوكرى [Mucormycosis]	أنواع من جنس ميوكر [Mucor] ورايزوبس [Rhizopus]
فطريات زقية [Ascomycetes]	مرض فطرى أسبرجيللى [Aspergillosis]	أسبرجيللس فيوميجاتس [Aspergillus Fumigatus]
فطريات خميرة [Blastomycetes]	مرض فطرى كانديدى [Candidamycosis]	كانديدا البيكانس [Candida albicans]
فطريات ناقصة [Deuteromycetes]	مرض فطرى سبوروتريكى [Sporotrichosis]	سبوروتريكم شنكياى [Sporotrichum Schenckii]

وغالبية الفطريات الحقيقية المسببة للأمراض الإنسانية تنتمى إلى الفطريات الناقصة أو الديترو ميسيتات (Deuteromycetes) بالذات ، وهى فطريات حقيقية تعوزها الأعضاء الجنسية ولا تستطيع التناسل جنسياً ، ولكنها تستطيع التكاثر خضرياً أو لاجنسياً ، ومن ثم فيعتمد تصنيفها إلى أجناس وأنواع على صفات وألوان أغزالها الفطرية وما تبديه من مميزات فسيولوجية ، مثل مدى إنتاجها للأصباغ وما تظهره من ألوان ، وقدراتها الإنزيمية على تخمير السكرات وغيرها من مواد ، كما يعتمد على طراز ما تنتجه من وحدات لا جنسية ، وما إذا كانت تلك الوحدات كونيدات صغيرة (Microconidia) أو كونيدات كبيرة (Macroconidia) ، وما إذا كان لديها القدرة على تكوين طراز خاص من الجراثيم يعرف باسم الجراثيم المفصلية (Arthrospores) ، حيث يتفتت الغزل الفطرى — عند إكمال نضجه — إلى مكوناته الخلوية ، وتحيط كل خلية نفسها بجدار سميك وتصبح غنية بالمواد الاختزانية ، وتنفصل عما يجاورها من خلايا لتصبح جرثومة مفصلية ، ثم تذرو الرياح هذه الجراثيم المفصلية لتجد طريقها إلى مزيد من العوائل الإنسانية .

الأمراض الفطرية بوجه عام :

يمكن تضمين الأمراض المسببة عن فطريات تحت المجموعتين الرئيسيتين الآتيتين :

١ — أمراض فطرية سطحية (Superficial mycoses) .

٢ — أمراض فطرية عميقة أو جهازية (Deep or Systemic mycoses).

وتصيب الأمراض الفطرية السطحية الجلد أو الأظافر أو الشعر ، وتسبب التقيحات والآلام ، ولكنها لا تؤثر على الصحة العامة ، أما الأمراض الفطرية العميقة أو الجهازية فتعد غالباً من الخطورة بمكان ، حيث تمتد عميقاً إلى الأعضاء الداخلية الحيوية وتسبب لها أفدح الأضرار ، بل قد تكون مميتة فى بعض الأحيان .

ولا تكون الأمراض الفطرية الجهازية عادة معدية نظراً لكونها صعبة الانتقال ، بينما تكون الأمراض الفطرية السطحية معدية لسهولة انتقالها من المرضى إلى الأصحاء ؛ ومن ثم فهي الأكثر شيوعاً بين الأمراض المسببة عن فطريات ، وتصنف أحياناً تحت مجموعة خاصة من الأمراض تعرف باسم الأمراض الفطرية الجلدية (Dermatophytoses) ؛ أما مسبباتها من الفطريات فيطلق عليها اسم الفطريات الجلدية (Dermatophytes) ؛ وسنتحدث عن كل منها باختصار .

الأمراض الفطرية السطحية :

تتسبب هذه الأمراض عادة عن فطريات حقيقية ؛ وأبرزها هي الأمراض القوبائية المسببة عن الإصابة بفطريات ناقصة ، وهي لا تكون في الجلد المصاب سوى الخيوط الفطرية والجراثيم المفصلية ، ولكن إذا عزلت وأنميت على منابت غذائية صناعية – مثل منبت سابورويد (Sabouraud's medium) فإنها تنمو ببطء لتعطي مستعمرات كثيفة النمو ، لا تلبث أن تكسوها نموات زغبية أو دقيقة من الخيوط الفطرية . تتخذ ألواناً زاهية ، وتنتج على الدوام حوامل كونيدية تحمل جراثيم لا جنسية تعرف بالكونيدات (Conidia) ، وغالبية هذه الجراثيم من طراز « الكونيدات الصغيرة » (Microconidia) الضئيلة الحجم والكمثرية الشكل ، توجد عادة على جوانب خيوط فطرية غير مميزة أو تتجمع عند أطراف خصلات محددة ، وبالإضافة إلى ذلك تعطي بعض أجناس هذه الفطريات جراثيم أكبر حجماً تعرف باسم « الكونيدات الكبيرة » ، وهي متعددة الغرف مستطيلة أو مغزلية الشكل ، وتصنف الفطريات المسببة للأمراض القوبائية – حسب نوع وشكل الكونيدات والمميزات الشكلية والفسيولوجية للأغزال الفطرية – تحت الثلاثة الأجناس الآتية :

١ – ميكروسبورم (Microsporum) .

٢ – ترايكوفيتون (Trichophyton) .

٣ – إبيدرموفيتون (Epidermophyton)

ويبين (جدول ١٣) المسببات الفطرية — من بين هذه الأجناس الثلاثة — المسئولة عن بعض الأمراض القوبائية ، كما يبين بعض الأمراض الفطرية السطحية الأخرى المسببة عما عداها من فطريات حقيقية وفطريات شعاعية .

ولا تصيب الأنواع المختلفة من جنس « ميكروسبورم » سوى الشعر والجلد حيث تكون كتلة الجراثيم الصغيرة باقة حول قاعدة الشعرة وتنمو تحت سطح الجلد مباشرة . أما أنواع جنس « ترايكوفيتون » فتصيب الشعر والجلد والأظافر ، وتتوالد على الشعر المصاب سلاسل من جراثيم مفصلية تنتظم فى صفوف متوازية داخل أو خارج الشعرة المصابة . ولا تصيب أنواع جنس « إبيدرموفيتون » الشعر ولكنها تصيب فقط الجلد والأظافر .

وتتمثل أعراض غالبية الأمراض الفطرية السطحية بوجود بثرات سطحية على الجلد أو الأغشية المخاطية ، وتستوفى المسببات الفطرية احتياجاتها الغذائية مما يوجد في الخلايا الخارجية للبثرات من بروتين غير مذاب يعرف باسم « الكراتين » (Keratin) ، وتظهر أعراض المرض على هيئـــة حلقات متحدة المركز ، ينتج عنها نقطات وتقشرات فى الجلد ، وتميل الإصابة إلى الإلتئام وسط كل حلقة ومواصلة الامتداد تجاه الحافة ، ومن ثم تتكون حلقات من نسيج ملتهب ، وقد يصاحب الإصابة أكلان متباين الشدة . وتستطيع بعض أنواع الفطريات مواصلة النمو داخل مادة الشعرة ذاتها .

وسنتحدث بالتفصيل عن مرض قراع الرأس — أو قوباء الرأس (Tinea capitis) — كمثل لأحد تلك الأمراض الفطرية السطحية :

مرض القراع : يحدث مرض القراع نتيجة إصابة فروة الرأس والشعر بأنواع خاصة من فطرتى « الترايكوفيتون » (Trichophyton) والميكروسبورم (Microsporum) ، وهى من الفطريات التى تنتمى إلى طائفـــة الفطريات الناقصة (Deuteromycetes) من بين طوائف الفطريات الحقيقية (Eumycetes) . وتتمثل أعراض المرض فى الرأس بوجود بثرات حرشفية مصحوبة باحمرار

وسقوط الشعر ، كما توجد فى بعض الأحيان طفحات جلدية عميقة ومتقيحة وتشبه أقراص العسل ، ولذلك فيعرف المرض كذلك باسم « القراع العسلى » .

وتحدث الإصابة بمرض القراع أثناء مرحلة الطفولة فى أغلب الأحوال ، وقلما تحدث بعد طور البلوغ ، وينتقل المرض بواسطة الجراثيم ، إما من شخص مصاب إلى آخر سليم ، وإما من بعض الحيوانات المستأنسة مثل القطط والكلاب والماشية والخيول ، كما تعمل كذلك على انتقاله الأمشاط والفرش وغيرها من أدوات الاستعمال الشخصى ، ويمكن بسهولة معالجة

[جدول ١٣]

بعض الأمراض الفطرية السطحية ، متضمنة الأمراض القوبائية ومواضع الإصابة بها وأنواع مسبباتها الفطرية

اسم المرض	موضع الإصابة	المسبب الفطرى
قوباء أصابع القدم [Tinea pedis]	القدم	أنواع من الإبيدرموفيتون والترايكوفيتون
قوباء الرأس أو القراع [Tinea capitis]	فروة الرأس	أنواع من الميكروسبورم والترايكوفيتون
قوباء الجسد [Tinea corporis]	الجلد الأملس للجسد	أنواع من الميكروسبورم والترايكوفيتون
قوباء الأظافر [Tinea ungium]	أظافر أصابع اليد والقدم	أنواع من الترايكوفيتون
قوباء الذقن [Tinea barbae]	الذقن	أنواع من الميكروسبورم والترايكوفيتون
إريثرازما [Erythrasma]	إصابة سطحية للجلد ، عادة فى الرفغ [ثنى الورك] أو الإبط	نوع من الفطرة الشعاعية [نوكارديا]
مرض الأذن الفطرى [Otomycosis]	قناة الأذن الخارجية	أنواع من الأسبرجيلس وغيره من الفطريات الحقيقية .

الإصابة المنتقلة من حيوان ، أما تلك المنتقلة من إنسان فتحتاج إلى علاج أطول وأوفر .

الأمراض الفطرية العميقة أو الجهازية :

تتجاوز الإصابة بهذه الأمراض الجلد إلى المناطق تحت الجلدية ، بل وتتغلغل داخلياً إلى أعضاء وأنسجة الأجساد ذاتها ، وهى تسبب الكثير من الأمراض ، البعض منها خطير والبعض الآخر مميت ، وتنتمى المسببات الفطرية لهذه الأمراض إلى فطريات الخميرة [Blastomycetes] أو الفطريات الشعاعية [Actinomycetes] أو الفطريات الحقيقية [Eumycetes] ، وتتميز فطريات الخميرة المسببة لهذه الأمراض بثنائية تشكلها ، كما سبق الإشارة إليها ومن أمثلة هذه الأمراض المرض الفطرى السبوروتريكى (Sporotrichosis) والمرض الفطــرى الأسبرجيللى الرئــوى [Pulmonary aspergillosis] ، وسنتحدث عن كل منهما باختصار .

المرض الفطرى السبوروتريكى : يتسبب هذا المرض عن الإصابة بنوع من فطرة « السبوروتريكم » (Sporotrichum) ، وهى فطرة تنتمى إلى طائفة الفطريات الناقصة من بين طوائف الفطريات الحقيقية . وتمتد الإصابة إلى العقد الليمفاوية ، كما تشمل كذلك الأنسجة الجلدية أو تحت الجلدية للبثرات .

المرض الفطرى الأسبرجيللى الرئوى : يتسبب هذا المرض عن الإصابة بنوع من فطرة « الأسبرجيللس » (Aspergillus) ، وهى فطرة تنتمى إلى طائفة الفطريات الزقية (Ascomycetes) من بين طوائف الفطريات الحقيقية . وتتشابه أعراض المرض مع أعراض مرض السل الرئوى ، حيث يكون المرض مصحوباً بسعال وببصاق مخاطى مختلط غالباً بدم . وفى بعض الحالات لا تتأثر الصحة العامة للمريض نتيجة للإصابة بهذا المرض بالذات ، وفى حالات أخرى تصاحب المرض حمى مترددة وتوكسيميا (تسمم دم) واضحة ، ولا يلبث المريض بالتدريج أن يصبح سيء المزاج ، وقد يؤدى المرض إلى الوفاة .

الباب العشرون

المضادات الحيوية

المضادات الحيوية (Antibiotics) هى نواتج أيضية ـ أو مواد كيميائية ـ تكونها بعض الكائنات الحية الدقيقة إما لإيقاف نمو الميكروبات (من بكتيريا وفيروسات) وإما لقتلها وإذابتها . وتستغل الكائنات هذه المضادات الحيوية لتستطيع أن تنتصر بها فى ميدان التنافس على غيرها من الكائنات التى تزاحمها المكان أو تشاركها الغذاء ، ويعد لويس باستير أول من استكشف هذه الظاهرة إذ شاهد عام ١٨٧٧ أن الحيوانات إذا حقنت بميكروب الجمرة الخبيثة ـ المعروف علمياً باسم باسيلس أنثراكيس (Bacillus anthracis) ـ وحده لم يلبث المرض أن يظهر ، أما إذا حقنت بنفس الميكروب مصحوباً ببعض بكتيريا عصوية لا تظهر على الحيوان المحقون أية أعراض للمرض . وفى عام ١٨٨١ لاحظ تندال (Tyndal) أن المزرعة البكتيرية النامية فى أنبوبة إذا تلوثت بفطرة البنيسليام جلاوكم (Penicillium glaucum) فلا تلبث البكتيريا النامية فى المزرعة الملوثة أن تفقد حيويتها وتسقط صريعة ميتة فى قاع الأنبوبة ، ولما كان تندال غير ملم فى ذلك الوقت بظاهرة التنافس بين الكائنات الحية فقد فسر موت البكتيريا بمنع الفطرة إياها من استغلال الأكسجين . وشاهد كثيرون غيرهما أن هناك من البكتيريا ما تستطيع أن تقى الحيوان شر الإصابة بمرض الجمرة الخبيثة ، وفيما عدا ما قام به ميتشنيكوف (Metchnikoff) من التوصية باستغلال بكتيرة اللاكتوباسيلس (Lactobacillus) استغلالا طبياً لمعالجة مرض الدوسنطاريا ، فقد بقيت هذه الظاهرة لا تتعدى المشاهدات حتى أتيح للعالم البكتيريولوجى الانجليزى الكسندر فلمنج (Alexander Fleming) عام ١٩٢٩ أن يستكشف البنيسيلين ، وجاءت الحرب العالمية الثانية فأظهرت ما للبنيسيلين من فوائد جمة فى علاج الجنود

المصابين ، وكانت الحرب وويلاتها بمثابة حوافز موجهة للبحوث العلمية ناحية المضادات الحيوية ، فتبين أن هناك الكثير من الكائنات الدقيقة — كالبكتيريا والفطريات الحقيقية والشعاعية والطحالب والأشن — لها القدرة على إنتاج المضادات الحيوية .

ويمكن تقسيم المضادات الحيوية — حسب الكائنات المنتجة لها — إلى الطرز الآتية :

١ — مضادات حيوية بكتيرية ، أى تنتجها البكتيريا ، مثل الباسيتراسين (Bacitracin)

٢ — مضادات حيوية فطرية حقيقية ، مثل البنيسيلين (Penicillin) .

٣ — مضادات حيوية فطرية شعاعية مثل الستربتومايسين (Streptomycin). والكلوروما يستين (Chloromycetin) والتيرامايسين (Terramycin) والأوريومايسين (Aureomycin) .

٤ — مضادات حيوية طحلبية ، مثل الكلوريللين (Chlorellin) .

٥ — مضادات حيوية أشنية مثل حمض الأسنيك (Usnic acid) والإيفوسين (Evosin) .

والمضادات الحيوية على اختلاف أنواعها لابد وأن تمر بجملة اختبارات خاصة قبل أن تستغل فى الطب استغلالا علاجياً . فإذا ثبت وجود ناتج أيضى مضاد للميكروبات فى مزرعة غذائية ينمو عليها كائن من الكائنات الدقيقة فلابد من عزله وتنقيته والتعرف عليه كيميائياً ، ثم تجربته على أجسام حيوانية — كأجسام الفئران مثلا — لاختبار مدى سميته للأجسام الحية ، ومعرفة ما إذا كان ذا تأثير على الميكروبات داخل الأجسام الحية كما هو ذو تأثير فى المزارع الغذائية . فإذا ثبتت عدم سميته للأجسام الحية اختبر تأثير القيح — وما شابهه من إفرازات الجروح — على قوته ، كما يختبر تأثيره على كرات الدم البيضاء وغيرها من أنسجة جسم الإنسان ، وعلى سائر العمليات

الفسيولوجية كعمليات التنفس ونبضات القلب والدورة الدموية وغيرها من العمليات ، وسنتحدث عن بعض المضادات الحيوية المعروفة باختصار .

البنيسيلين

يرجع استكشاف البنيسيلين إلى عام ١٩٢٩ ، عندما كان الكسندر فلمنج يقوم بدراسات على الصفات المزرعية لنوع من البكتيريا العنقودية يعـــرف علمياً باسم « ستافيلوكوكس أورياس » (Staphylococcus aureus) فوجد أن فطرة دخيلة تسربت إلى المزرعة البكتيرية فأوقفت نمو البكتيرة وسببت إذابتها ، ومن ثم عزل فلمنج الفطرة الدخيلة وتعرف عليها ، ووجد أنها بنيسيليام نوتاتم (أنظر شكل ٢٠٩) ، واشتق اسم المضاد الحيوى من اسم الفطرة ذاتها ، إذ أسماه البنيسيلين .

ولم يفصل البنيسيلين من المزرعة الفطرية فى حالة نقية إلا عام ١٩٤٠ ، حيث قام بفصله كل من العالمين فلورى (Florey) وشين (Chain) ، ووجداه حمضاً ذا وزن جزيئى صغير ، كما وجد أنه يمكن استخلاصه باستعمال الكثير من المذيبات العضوية ، وحين فصل البنيسيلين لأول مرة كان على هيئة مادة صفراء اللون غير متبلورة ، ثم تحسنت طرق الفصل بعد ذلك بحيث أمكن تحضيره على هيئة مادة بيضاء اللون متبلورة . وقد وجد أن هذه المادة هى فى الحقيقة خليط من أربعة أنواع من البنيسيلين هى :

١ – بنيسيلين ف (Penicillin F) .

٢ – بنيسيلين ج (Penicillin G) .

٣ – بنيسيلين إكس (Penicillin X) .

٤ – بنيسيلين ك (Penicillin K) .

والتركيب الكيميائى الأساسى للأنواع الأربعة من البنيسيلين هو الحمض العضوى $ك_{٩}$ $يد_{١١}$ $ا_{٤}$ كب$ن_{٢}$ (ج) ، حيث ترمز (ج) لسلسلة جانبية تختلف

باختلاف أنواع البنيسيلين . وهى تتباين فيما بينها من حيث مميزاتها الكيميائية وتأثيراتها على مختلف الميكروبات واستغلالاتها العلاجية ، فوجد مثلا أن بنيسيلين (إكس) أقوى تأثيراً فى علاج السيلان من بنيسيلين (ج) ، أما فى علاج الزهرى فيتساوى كل من البنيسيلين (إكس) و (ف) من حيث قوة التأثير ، ثم يليهما بنيسيلين (ك) و (ج) بالترتيب .

ووجد أن البنيسيلين يستطيع إيقاف نمو بعض البكتيريا الممرضة للإنسان ويعمل على شفاء أمراضها ، والمجموعات الآتية من البكتيريا تتأثر بالبنيسيلين :

١ – **بكتيريا عصوية (Bacilli)** : مثل الأنواع المسببة لأمراض الدفتيريا (Diphtheria) والجمرة الخبيثة (Anthrax) والتيتانوس (Tetanus) والغنغرينا الغازية (Gas gangrene) . ويتسبب مرض الغنغرينا الغازية عن عدة أنواع من جنس الكلوستريديم (Clostridium) ، وكان ينتج عنه فيما مضى كثير من المضاعفات الخطيرة إبان الحروب . عندما يترك المصابون بالجروح لمدة طويلة ، فتتلوث الجروح نتيجة لما يحمله الهواء من جراثيم أنواع الكلوستريديم ، فتنفذ هذه الميكروبات خلال الجروح إلى داخل العضو المصاب ، ثم تأخذ فى استيفاء احتياجاتها الغذائية مما فى جسد المصاب من بروتينات ، ويتصاعد تبعـاً لذلك غاز ، ولا يقتصر ضررها على استنفاد البروتينات بل تفرز سمـوماً قاتلة إذا سرت فى الجسد أودت به إلى الهـلاك ، وكانت الطريقة الوحيدة لإنقاذ الحياة – قبل استكشاف البنيسيلين – هى بتر العضو المصاب.

٢ – **بكتيريا كروية ثنائية (Diplococci)** : مثل الأنواع المسببة لأمراض الالتهاب الرئوى (Pneumonia) والالتهاب السحائى (Meningitis) والسيلان (Gonorrhea) ، وتعد ميكروبات الالتهاب السحائى والسيلان الوحيدة من بين البكتيريا السالبة لصبغة جرام (Gram-negative) التى تتأثر بالبنيسيلين ، أما ما عداها فهى موجبة لصبغة جرام (Gram-positive) .

٣ – **بـكتيريا عنقودية (Staphylococci)** : ومن أنواعها ما تسبب الإسهال (Diarrhea) والدمامل والخراجات والتقيحات الجلدية والتهاب نخاع العظام (Osteomyelitis) .

٤ — **بكتيريا سبحية** (Streptocoocci) : ومن أنواعها ما تسبب الحمى القرمزية وحمى النفاس ومرض الحمرة والتهاب اللوز وتسمم الدم والحمى الروماتيزمية والتهابات الكثير من الأعضاء الجسدية (الكلية ، بطانة القلب ، النتوء الحلمى ، البريتون ، النسيج الخللى للرحم) .

٥ — **بكتيريا منثنية** (Spirochetes) : مثل البكتيريا المسببة لمرض الزهرى (Syphilis) والحمى الراجعة (Relapsing fever) .

والبنيسيلين غير سام للإنسان والحيوان ، حتى ولو حقنت أجسامها بجزعات منه قوية التركيز ، وهو قوى المفعول فى إيقاف نمو الميكروبات التى تتأثر به حتى إذا خفف إلى حوالى ٠٫٠٠٠٠٠١ جرام فى كل ملليلتر ، وهو يستعمل طبياً بحقنه فى العضل — أو كدهان موضعى — وتستغل عادة أملاحه البوتاسيومية أو الصوديومية أو الكالسيومية أو على هيئة بروكايين البنيسيلين (Procaine penicillin) ، وهو قابل للذوبان فى الماء والكحول ، ولكن يعمل الأخير على إفساد تأثيره ، كما تعمل الأحماض المعدنية على إبطال مفعوله ، ولذلك لا يستطاع تناوله عن طريق الفم لأن حامضية العصارة المعوية تعمل على إتلافه وإبطال مفعوله .

وتتوقف كمية كل نوع من أنواع البنيسيلين الأربعة فى الخليط على ظروف شتى ، منها مثلا طريقة نمو الغزل الفطرى على المحلول الغذائى ومكونات هذا المحلول ، فمن طرق النمو ما يكون فيه الغزل الفطرى سطحياً يظل طافياً ومنها ما يكون فيها مغموراً ، فكان بنيسيلين (ف) هو السائد فى الخليط فى المزارع السطحية التى كانت تستغل لتحضيره فى الأعوام الأولى من الحرب العالمية الثانية ، وكانت الفطرة الوحيدة المستغلة حينذاك هى نفس سلالة البنيسيليام نوتاتم التى عزلها فلمنج ، إذ كان يعتقد أنها الفطرة الوحيدة القادرة على إنتاج البنيسيلين ، ثم تبين بعد ذلك أن هناك سلالات أخرى من نفس الفطرة لها القدرة على إنتاج البنيسيلين ، ومالبث أن استكشف نوع آخر من البنيسيليام — هو بنيسيليام كريزوجينام (Penicillium chrysogenum)

ثبتت قدرته كذلك على إنتاجه بقدر وفير ، وأستبدلت طريقة المزرعة السطحية بطريقة جديدة هى المزرعة المغمورة ، فعملت الطريقة الأخيرة على زيادة إنتاج البنيسيلين — لاسيما البنيسيلين (ج) أو البنيسيلين التجارى — زيادة كبيرة .

ثم أظهرت الأبحاث أن إنتاج البنيسيلين لا يقتصر على أنواع فطرة البنيسيليام بل أن هناك أنواع من فطرة الأسبرجيللس لها القدرة على إنتاج مشتقات فعالة من بنيسيلين (ف) ، مثل ثنائى هيدرو البنيسيلين ف (Dihydro penicillin F) — الذى يعرف أيضاً باسم حمض الجيجانتيك (Gigantic acid) تنتجه فطرة الأسبرجيللس جيجانتيس (Aspergillus giganteus) ، وطراز آخـــر من بنيسيلين (ف) يعرف باسم الفلافيسين (Flavicin) تنتجه فطرة الأسبرجيللس فلافس (Aspergillus flavus) .

وبجانب ما ذكر من أنواع البنيسيلين ، أكتشف نوع آخر جديد يعرف باسم (Penicillin V) — أو فينوكسى ميثيل البنيسيلين (Phenoxymethyl penicillin) ، وهو يستغل طبياً فى الولايات المتحدة الأمريكية منـــذ عام ١٩٥٥ . ويتميز عن الأنواع السابقة من البنيسيلين بعدم تأثره بالأحماض المعدنية ، ولذلك فيمكن استعماله عن طريق التجرع بالفم ، إذ لا يتأثر بحامضية العصارة المعدية ، كما أنه يضارع غيره من أنواع البنيسيلين من حيث تأثيراته العلاجية .

الستربتومايسين

فصل الستربتومايسين (Strerptomycin) من المزرعة الصناعية التى تنمو عليها بعض سلالات من الفطرة الشعاعية ، التى تعرف علمياً باسم « ستربتومايسس جريسياس » (Streptomyces griseus) ، وقام بفصل هذه الفطرة الشعاعية واكسمان ومعاونوه عام ١٩٤٤ .

ووجد أن الستربتومايسين يعمل على إيقاف نمو الكثير من البكتيريا التى لا تتأثر بمركبات السلفانيميد والبنيسيلين ، فهو يؤثر على بعض البكتيريا سالبة الجرام كالمسببة لحمى الأرانب والتيفوئيد ، كما يؤثر على البكتيريا المسببة لأمراض الدرن (السل) والدوسنطاريا الباسيلية والتسمم الغذائى . والستربتومايسين — إذا كان تام النقاوة — غير سام للإنسان والحيوان عندما يستعمل بجرعات قليلة ، أما إذا استعمل بكثرة ولفترات طويلة نتج عن توالى تراكمه وازدياد تركيزه داخل الأجسام إتلاف العصب الجمجمى الثامن ، مما يؤدى إلى الصمم . والتركيب الكيميائى للستربتومايسين هو : ($\text{ك}_{٢١}\text{يد}_{٣٩}\text{ا}_{٢}\text{ن}_{٧}$)

الكلورومايسيتين

يتميز الكلورومايسيتين (Chloromycetin) — ويعرف أيضاً باسم الكلورامفينيكول (Chloramphenicol) — عن البنيسيلين والستربتومايسين بمدى تأثيره الواسع على مجموعات متباينة من الميكروبات ، إذ يؤثر على كثير من البكتيريا السالبة والموجبة لصبغة جرام والبكتيريا المنثنية والرايكتسيات (Rickettsiales) والفيروسات . والرايكتسيات هى رتبة خاصة من البكتيريا غير الحقيقية ، أصغر حجماً من البكتيريا الحقيقية وتتخذ أشكالها العصوية والكروية والحلزونية ، ولكنها إجبارية التطفل ، إذ تستلزم دورة حياتها وجود عائل حيوانى وسطى لكى تنتقل منه لتصيب الإنسان ، مثل مرض التيفوس الذى ينتقل إلى الإنسان عن طريق براغيث الفئران أو قمل الإنسان . ويمتاز الكلورومايسيتين بنوع خاص بقدرته على معالجة حمى التيفوئيد . وأول من استكشف الفطرة الشعاعية المنتجة له هو بيركهولدر (Burkholder) عام ١٩٤٧ ، عزلها من عينة من التربة جمعها من أرض فينزويلا . ومن ثم أعطى لنوع الفطرة السبحية التى تنتجه اسم ستربتومايسس فينزويلى (Streptomyes venezuelae) .

وبالإضافة إلى الكلورومايسيتين ، يوجد مضادان حيويان آخران تنتجهما أنواع أخرى من الفطرة السبحية ، أحدهما الأوريومايسين (Aureomycin) الذى تنتجه الفطرة الشعاعية ستربتومايسس أووريوفاسيانس

(Streptomyces aureofaciens) ، والآخر هو التيرامايسين (Terramycin) الذى ينتجه الاستربتومايسس رايموسس(Streptomyces rimosus) ، وكلاهما يشبه الكلوروماسيتين من حيث مدى التأثير الواسع على مجموعات متباينة من الميكروبات ، إلا أنهما يختلفان عنه من حيث التركيب الكيميائى ، إذ أن كلا منهما يعد أحد مشتقات التتراسيكلين (Tetracycline) ، فالأوريومايسين هو كلوروتتراسيكلين (Chlorotetracycline) والتيرامايسين هــو أوكسى تتراسيكلين (Oxytetracycline) ، أما المضاد الحيوى التتراسيكلين — الذى يعرف تجاريا باسم الأكرومايسين (Achromycin) فيحضر كيميائياً من الأوريومايسين بنزع الكلور منه .

مضادات حيوية أخرى

فصل كثير من المضادات الحيوية من المزارع الغذائية التى تنمو عليها بعض أنواع البكتيريا العصوية الهوائية الموجبة لصبغة جرام والمكونة للجراثيم الداخلية من طــراز « باسيلس سابتيلس » (Bacillus subtilis) ، وأبرزها هو الباسيتراسين (Bacitracin) الذى اكتشفه ميلينى (Meleney) عام ١٩٤٥ ، واشتق اسم هذا المضاد الحيوى من اسمى البكتيرة (باسيلس) وتراسى (Tracy) ، وهو المريض الذى عزلت البكتيرة من جرحه . وأمكن تحضير الباسيتراسين على هيئة مسحوق أصفر يذوب فى الماء ، وهو يشبه البنيسيلين من حيث إمكان استغلاله طبياً لمعالجة الأمراض المسببة عن البكتيريا الموجبة لصبغة جرام ، كما يؤثر على البكتيريا المسببة لأمراض الالتهاب السحائى والسيلان والزهرى .

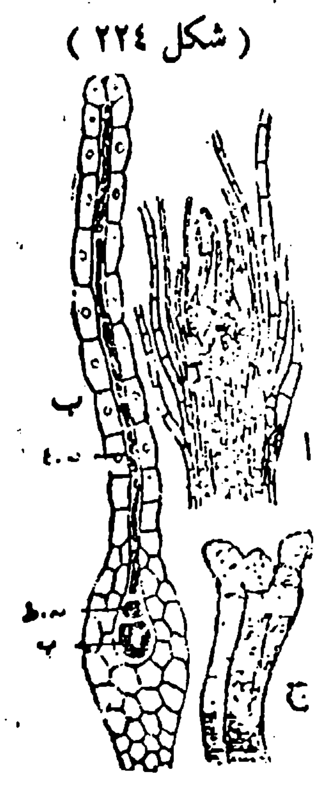
وقد فصلت من بعض الأشن مضادات حيوية على أكبر جانب من الأهمية ، فمن أشنة « أسنيا بارباتا » (Usnea barbata) فصل حمض الأسنيك (Usnic acid) الذى يعمــل على إيقاف نمو ميكروب السل حتى إذا خفف بالماء بنسبة (١ : ١٦٠٠٠٠٠) ، وفصلت من أشنة أخرى مادة الإيفوسين (Evosin) التى تعمل على إيقاف نمو ميكروب السل حتى إذا خففت بنسبة (١ : ٢٠٠٠٠٠٠٠).

الباب الحادى والعشرون

الأرشيجونيات

تتميز الأرشيجونيات (Archegoniatae) بوجود عضو جنسى أنثوى يعرف بالأرشيجونة (Archegonium) ، يتكون من جزءين رئيسيين : جزء سفلى منتفخ يعرف بالبطن (Venter) وجزء علوى مستطيل يسمى العنق (Neck) . أما البطن (شكل ٢٢٤) فتحتوى بداخلها على خليتين ، إحداهما المشيج الأنثوى أو البيضة (Ovum or oosphere) والأخرى الخليـة القنوية البطنيـة (Ventral canal cell) ، ويستقر بداخل العنق صف من الخلايا القنوية العنقية (Neck canal cells) ، ويحيط بالأرشيجونة جـدار من خلايا عقيمـة يعرف بالجـدار الأرشيجونى (Archegonial wall) .

(شكل ٢٢٤)



قطاعات طولية فى أجزاء من النبات المشيجى لإحدى الأرشيجونيات (الفيوناريا) تبين : (ا) قطاع طولى فى طرف النبات حيث تنظم الأرشيجونات ، (ب) قطاع طولى فى الأرشيجونة وترى بداخلها البيضة (ب) والخلية القنوية البطنية (ق.ب.ط) والخلايا القنوية العنقية (ق.ع) ، (ج) المظهر الخارجى لطرف عنق الأرشيجونة (عن سميث)

وتتميز الأرشيجونيات أيضاً بوجود عضو جنسى ذكرى متخصص متعدد الخلايا (شكل ٢٢٥) يعرف بالأنثريدة (Antheridium) ، كروى الشكل أو بيضى ، وتتكون كل أنثريدة من جدار خارجى عقيم — هو الجدار الأنثريدى (Antheridial wall) — يحوى بداخله عدداً كبيراً من الخلايا الوالدة للسابحات الذكرية (Sperm mother cells) ، وتعرف مجموعة هذه

الخلايا الوالدة بالنسيج المولد للسابحات الذكرية (Spermatogenous tissue) ، وتكون الأنثريدة إما معنقة أو جالسة حسب أجناس الأرشيجونيات وأنواعها. وعندما يكتمل نضج الأنثريدة تنقسم محتويات كل خلية والدة إلى سابحة ذكرية (Spermatozoid) أو أكثر ، كل واحدة منها ثنائية أو عديدة الأهداب بحسب الأنواع المختلفة للأرشيجونيات ، وتتحرر كل سابحة ذكرية وتسبح فى وجود الماء — بفضل ما تملك من أهداب — حتى تصل إلى الأرشيجونة لإتمام عملية الإخصاب (Fertilization) .

(شكل ٢٢٥)

ا ب

الأنثريدة فى نبات (الرمشيا) : (ا) قطاع فى الثالوس ترى فيه الأنثريدة بين الخيوط التمثيلية ، (ب) قطاع فى أنثريدة مكبرة وترى العنق عند القاعدة والجدار الخارجى المقيم يحيط بالخلايا الوالدة للسابحات الذكرية (عن سميث).

ويعرف طور النبات الأرشيجونى المنتج للأعضاء الجنسية — من أرشيجونات وأنثريدات — بالطور المشيجى (Gametophytic generation) أو النبات المشيجى (Gametophyte) ؛ وعندما تنضج الأرشيجونة — وتصبح على أهبة الإخصاب — تنحل الخلايا القنوية العنقية. وينتج عن انحلالها تكوين مادة هلامية ، تبرز من عنق الأرشيجونة ، وتنبعث منها رائحة خاصة تجذب إليها السابحات الذكرية جذباً كيميائياً. وتتخذ السابحات الذكرية طريقها داخل الممر المتكون فى عنق الأرشيجونة — نتيجة لانحلال الخلايا القنوية العنقية — حتى تصل إلى البيضة ويتم الإخصاب ، وتعرف البيضة المخصبة حينئذ باللاقحة (Zygote) .

ويكون النبات أو الطور المشيجى — بما يحمل من أعضاء جنسية وينتج من أمشاج (سابحات ذكرية وبيضات) — أحادى المجموعة الصبغية (Haploid) وعند إتمام الإخصاب تندمج نواتا السابحة الذكرية والبيضة فتصبح اللاقحة

بذلك ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) . وتعد اللاقحة بمثابة بدء طور آخر جديد فى دورة الحياة — يتبادل باستمرار مع الطور المشيجى — ويعرف بالطور الجرثومى (Sporophytic generation) أو النبات الجرثومى (Sporophyte) وتنقسم اللاقحة وتتميز الخلايا الناتجة — وجميعها ثنائية المجموعة الصبغية — لتكوين الطور الجرثومى (البوغى) .

ويكون الطور الجرثومى فى الأرشيجونيات البدائية على درجة كبيرة من البساطة فى المظهر والتركيب ، حيث تحيط اللاقحة نفسها بجدار عقيم ، وتنقسم محتوياتها الداخلية إلى عدد كبير من الخلايا الوالدة للجراثيم (Spore mother cells) ، وتنقسم نواة كل خلية والدة مرتين — أولهما انقسام اختزالى — لتكون أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية ، ثم تحاط كل نواة بجـــدار لتكوين جرثومة وتبدو الجراثيم مرتبة فى رباعيات (Tetrads) . وتتحرر كل جرثومة وتنتثر لتنبت — تحت الظروف المناسبة — وتعطى نباتاً مشيجياً أحادى المجموعة الصبغية ، كالجرثومة التى نبت منها ، وهكذا يعيد النبات الأرشيجونى دورة الحياة .

ويعرف النسيج الذى تتكون منه الجراثيم بالنسيج المولد للجراثيم (Sporogenous tissue or archesporium) ومع أن هـــذا النسيج يكاد يشغل جميع الفراغ الداخلى للاقحة فى الأطوار الجرثومية للأرشيجونيات البدائية فالطور الجرثومى يأخذ فى التعقيد — مظهرياً وتركيبياً — فى الأنواع الراقية ، حيث تفقد بعض الخلايا — الناتجة عن انقسام اللاقحة — قدرتها على إنتاج الجراثيم ، وتتحور وتتخذ أشكالا شتى لتكوين أنسجة عقيمة تقوم بوظائف مختلفة للنبات الجرثومى كالتدعيم والتوصيل والتخزين . ويقتصر تكوين الجراثيم على أجزاء محدودة من النبات الجرثومى فى أكثر الأرشيجونيات رقياً .

وهكذا ، فبجانب تكوين الأرشيجونات والأنثريدات ، توجد صفة ثالثة هامة فى الأرشيجونيات هى وجود طورين متميزين فى دورة حياة النبات ،

طور مشيجى يحمل الأعضاء الجنسية وينتج الأمشاج ، وطور آخر يتبادل معه باستمرار هو الطور الجرثومى . ويتبادل هذان الطوران بانتظام فى جميع الأرشيجونيات ، وتعرف هذه الصفة بظاهرة تبادل الأجيال (Alternation of generations) ، وتصاحب التبادل المظهرى للطورين المشيجى والجرثومى دورة نـــووية (Nuclear cycle) حيث ينتصف عـــدد الصبغيات (أو الكروموسومات) عند تكوين النبات المشيجى ويتضاعف فى النبات الجرثومى . فخلايا النبات المشيجى والأمشاج — من سابحات ذكرية وبيضات أحادية المجموعة الصبغية ، بمعنى أنها تحتوى نصف عدد الصبغيات التى تحتويها خلايا النبات الجرثومى ، ويرمز لها بالحرف (ن) . وتندمج نواتا السابحة الذكرية والبيضة عند الإخصاب لتكوين نواة اللاقحة ذات المجموعة الصبغية الثنائية ، ويرمز لها بالرمز (٢ ن) ، وبتوالى انقسام اللاقحة يتميز نبات جرثومى جميع خلاياه ثنائية المجموعة الصبغية ، والخلايا الوالدة الجرثومية تكون ثنائية المجموعة الصبغية ، وتنقسم نواة كل خلية منها مرتين — أولهما انقسام اختزالى — تنتصف به عدد الصبغيات فى كل جرثومة ، وتصبح كل جرثومة بذلك أحادية المجموعة الصبغية ، وتعطى كل جرثومة بدورها عند الإنبات مشيجياً أحادى المجموعة الصبغية ، وهكذا تصاحب الدورة النووية ظاهرة تبادل الأجيال فى جميع مراتب الأرشيجونيات .

ومع أن ظاهرة تبادل الأجيال قد تحدث فى النباتات الثالوسية — من طحلبية أو فطرية — فإنها غير منتظمة ، أما فى الأرشيجونيات فهى منتظمة ودائمة الحدوث .

ويختلف مدى التوازن بين الطورين المشيجى والجرثومى — من حيث سيادة أحدهما وضمور الآخر — باختلاف مراتب الأرشيجونيات ، وتنقسم الأرشيجونيات حسب هذه السيادة النسبية إلى الأقسام الآتية :

١ — النباتات الهباتية (Hepatophyta) والحزازية (Bryophyta) .
٢ — البتيريات أو النباتات البتيرية (Pterophyta) .

٣ - عاريات البذور (Gymnosperms) .

ففى النباتات الحزازية يكون الطور المشيجى هو الطور المزدهر والسائد فى دورة الحياة ، وهو الذى يمثل النبات ذاته ، بينما يظل الطور الجرثومى ضامراً ومتطفلا طول حياته على الطور المشيجى السائد . أما النباتات البتيرية وعاريات البذور فينعكس فيهما التوازن بين الطورين ، بمعنى سيادة الطور الجرثومى الذى يمثل النبات ذاته ، بينما يظل الطور المشيجى ضامراً للغاية ، وتتميز عاريات البذور عن النباتات التريدية بقدرتها على تكوين البذور ، وسندرس بشىء من التفصيل كل قسم على حدة .

ويمكن تلخيص ما سنتناوله فى الأبواب التالية من أجناس الأرشيجونيات كالآتى :

هباتيات وحزازيات	**هباتيات** (نباتات كبدية) : ريشيا وماركانتيا. (**حزازيات قائمة**) : فيوناريا .
بتيريات	(أ) **متشابهة الجراثيم** : السرخسيات : كزبرة البئر (ب) **متباينة الجراثيم** : الرصنيات : الرصن
عاريات البذور	الصنوبر .

الباب الثاني والعشرون

النباتات الحزازية

تتميز النباتات الهباتية أو الكبدية (Hepaticeae or Liverworts) والحزازية (Bryophyta) بسيادة الطور المشيجي ، الذى يمثل النبات ، أما الطور الجرثومى فيكون على أكبر درجة من الضمور ويستمر طول حياته معتمداً ومتطفلا على النبات المشيجي ، ويفتقر هذان القسمان إلى الجذور ويمتص أفرادهما الماء عن طريق جسم الثالوس ، وكانت النباتات الكبدية تعرف من قبل باسم« الحزازيات المنبطحة » ، بينما كانت النباتات الحزازية تسمى « الحزازيات القائمة » (Musci or Mosses) .

والفرق الأساسى بين الهباتيات والحزازيات هو طريقة إنبات الجرثومة ، ففى الهباتيات تنبت الجرثومة لتعطى مباشرة النبات المشيجي ، أما فى الحزازيات فتنبت الجرثومة لتعطى طوراً خيطياً متفرعا يسمى الخيط الأولى أو البروتونيما (Protonema) ، وتظهر عليه عدة براعم ، ينمو كل برعم منها إلى نبات مشيجي. وتختلف الهباتيات أيضاً عن الحزازيات من حيث تركيب النباتات المشيجية ، إذ يكون فيها النبات المشيجي منبطحا على سطح الأرض ، ثالوسيا (Thalloid) أو ورقيا (Leafy) ، وفى الأنواع الثالوسية لاتتميز ساق أو جذور أو أوراق . أما النبات المشيجي فى الحزازيات فيكون فى الغالب قائما ، كما يكون ورقياً على الدوام ، أى يتميز خارجيا إلى ساق وأوراق .

وتختلف النباتات المشيجية الورقية فى الهباتيات عنها فى الحزازيات ففى الأولى تكون الساق منبطحة وتنتظم عليها الأوراق فى صفين ، أما فى الحزازيات فتكون الساق قائمة وتنتظم عليها الأوراق عادة فى ثلاثة صفوف. وتعد الهباتيات والحزازيات فى الحقيقة نباتات أرضية ، ولكنها

تشابه البرمائيات بين أقسام الحيوان من حيث أنها تتطلب وجود الماء فى بعض مراحل حياتها لكى تتم عملية الإخصاب ، وتعيش كثرة منها فى المناطق الاستوائية وبعضها نباتات مائية .

وسندرس كمثالين للهباتيات (أى النباتات الكبدية) الريشيا (Riccia) والماركانتيا (Marchantia) ، وفيهما يكون النبات المشيجى ثالوسيا ، وكمثل للحزازيات الفيوناريا (Funaria) ، وفيها يكون النبات المشيجى ورقيا .

أولا : النباتات الهباتية (الكبدية)

الريشيا

يمثل الطور السائد فى الريشيا النبات المشيجى (Gametophyte) ، الذى يوجد عادة على سطح التربة الرطبة ، فينمو على شاطىء النيل وفى الحدائق وتحت الأشجار وفى الأصص . ويتكون من ثالوس أخضر مفلطح دائرى الشكل (شكل ٢٢٦) يتفرع تفرعا ثنائى الشعب ، ويتميز الجزء الوسطى منه بانتفاخه إلى حد ما ليكون مايشبه العرق الوسطى . ويتصل الثالوس بالتربة أو بالطبقة التحتيــة بأشباه جذور (Rhizoids) وبحراشيف (Scales) ، وتنتظم الحراشيف على السطح السفلى للثالوس فى صفين ، وهى متعددة الخلايا ، أما أشباه الجذور فوحيدة الخلية وتوجـد بكثرة بين صفى الحراشيف وتبرز إلى داخـل أشباه الجـذور نتوءات تعمل على دوام انتفاخها ، ومن ثم فتعرف بأشباه الجذور المتدرنة (Tuberculate rhizoids) . وتقـوم أشباه الجـذور والحراشيف بتثبيت النبات ، كما تعمل على امتصاص ماء التربة بما يحمل من أملاح .

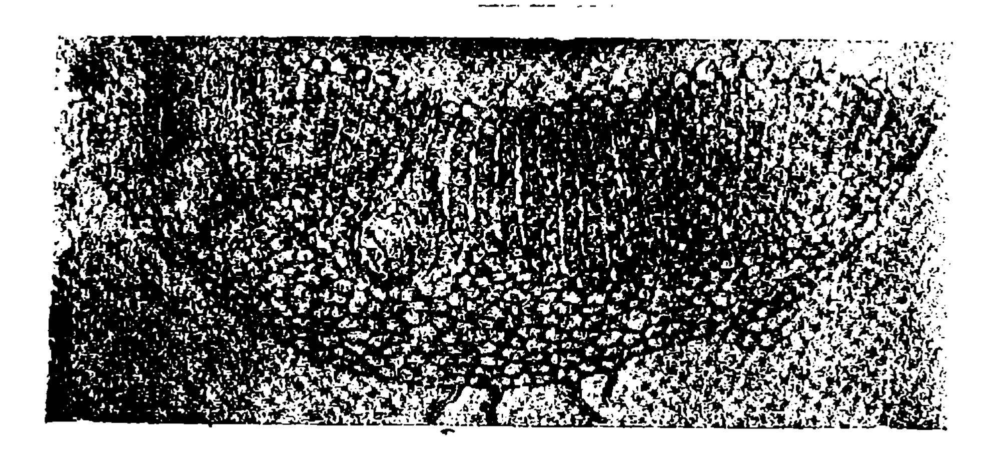
(شكل ٢٢٦)



منظر خارجى للطور المشيجى فى الريشيا (عن سميث)

ومع أن الثالوس – أو النبات المشيجي – لايتشكل خارجيا إلى أعضاء ، أى جذور وسيقان وأوراق ، فإنه يتميز داخليا إلى نسيجين (شكل ٢٢٧) ، أحـــدهما علوى ويعرف بالنسيج التمثيلي (Assimilating tissue) والآخر سفلى ويعرف بالنسيج التخزيني (Storage tissue) . . أما النسيج التمثيلي فيتكون من خيوط تمثيلية (Assimilating filaments) ، تفصل مابينها قنوات هوائية ، ويتكون كل خيط تمثيلي من صف من خلايا غنية بالبلاستيدات الخضر . وفى بعض أنواع الريشيا لاتوجد بلاستيدات خضر فى الخلايا السطحية للخيوط التمثيلية ، بل تكون تلك الخلايا بشرة علوية ، وقد تظل خلاياها متجاورة ومنفصلة أو تلتصق جنباً إلى جنب لتكون بشرة متصلة .

(شكل ٢٢٧)

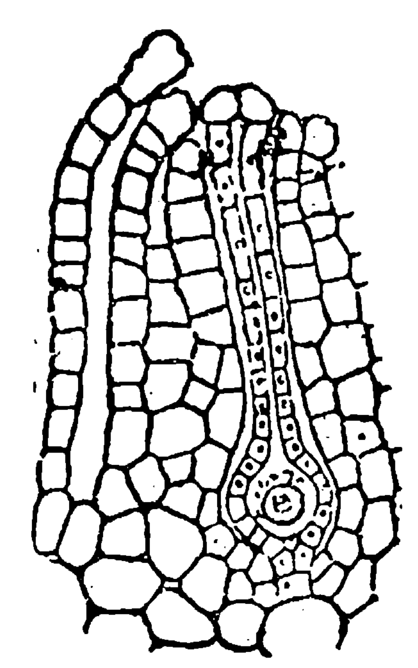


قطاع فى الطور المشيجي لنبات ريشيا جلاوكا (عن سميث)

التناسل الجنسي : النبات المشيجي وحيد المسكن (Monoecious) . بمعنى أنه يحمل الانثريدات والأرشيجونات معاً ، وتستقر هذه الأعضاء الجنسية عند قواعد بعض القنوات الهوائية بين الخيوط التمثيلية (شكلا ٢٢٧ ٢٢٨) ، وعند اكتمال نضج الأنثريدة تعطى كل خلية والدة سابحتين ذكريتين كل واحدة منهما كمثرية الشكل لها هدبان عند طرفها المدبب . أما الأرشيجونة فعند نضجها (شكل ٢٢٨) تأخذ خلاياها القنوية العنقية فى الانحلال وتتحول بالتدريج إلى مادة هلامية تبرز من عنق الأرشيجونة ، وتعد موجهة للسابحات

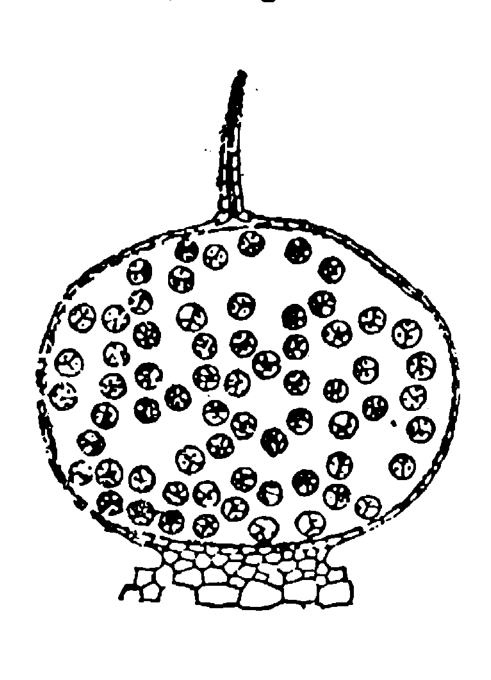
الذكرية التي تنجذب إليها انجذاباً كيميائياً ، فتتحرك السابحات الذكرية في وجود الماء حتى تصل إلى عنق الأرشيجونة وتتقدم داخل القناة — المتخلفة عن انحلال الخلايا القنوية العنقية — حتى تصل إلى البيضة فتلقحها ويتم الإخصاب ، وتعد اللاقحة — أو البيضة المخصبة — بمثابة بداية الطور التالي في دورة الحياة ، وهو النبات الجرثومي (شكل ٢٢٩) .


(شكل ٢٢٨)



جزء من القطاع مستعرض في الطور المشيجي لريشيا ، يبين أرشيجونة تم نضجها ، وأحاطت السابحات الذكرية بالبيضة لإتمام عملية الإخصاب .

(شكل ٢٢٩)

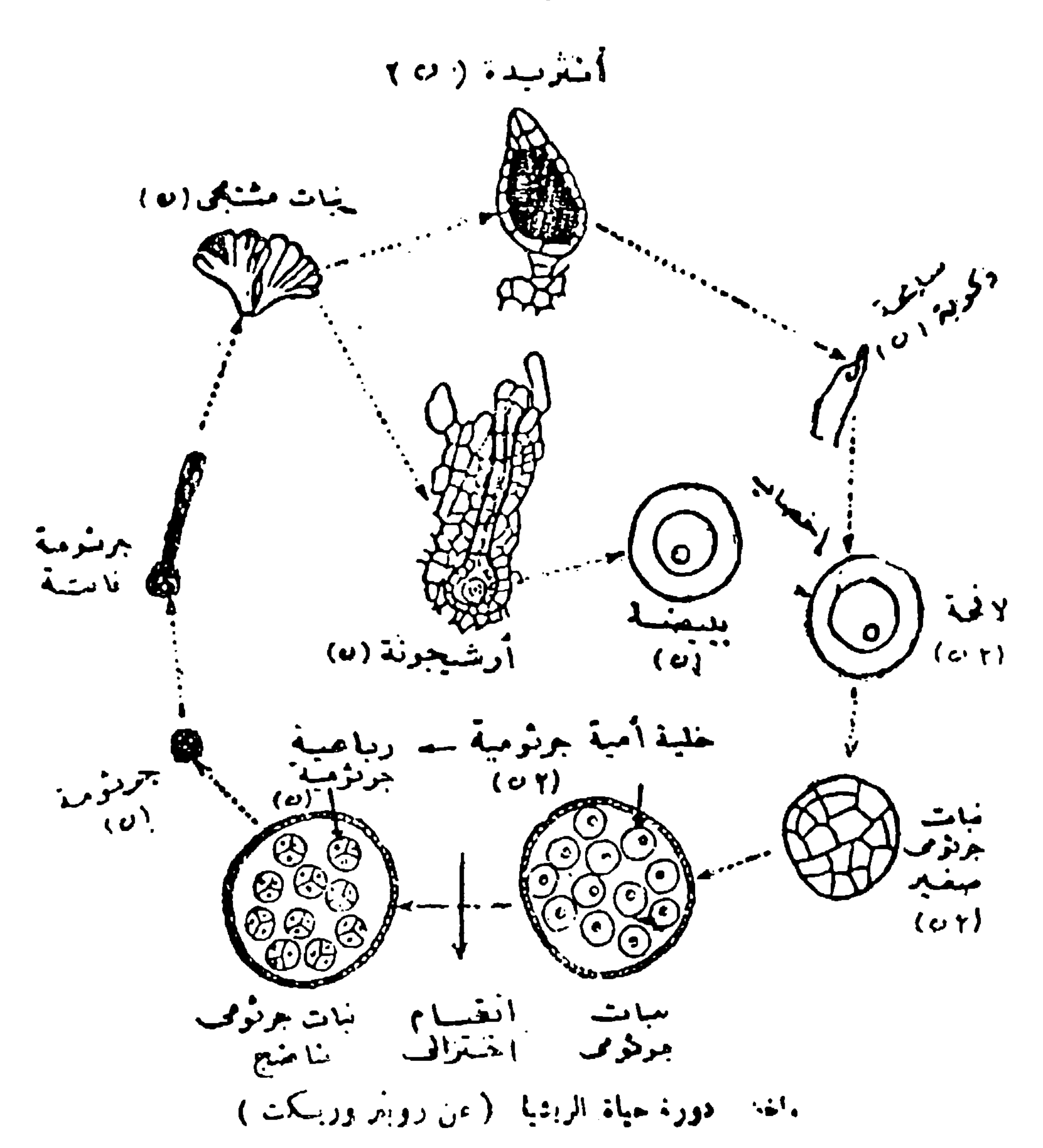


قطاع في النبات الجرثومي لريشيا تتميز بداخله الخلايا الوالدة الجرثومية والرباعيات الجرثومية ، وترى بقية عنق الأرشيجونة عند القمة (عن هوبت) .

النبات الجرثومي (Sporogonium or Sporophyte) : يمثل النبات الجرثومي أبسط النباتات الجرثومية بين الأرشيجونيات جميعاً ، إذ لا تلبث اللاقحة أن تحاط بجدار عقيم وتنقسم محتوياتها الداخلية إلى عدد من الخلايا الوالدة الجرثومية ، تنقسم كل خلية منها مرتين لتعطي أربع جراثيم أو رباعية جرثومية (Spore tetrad) . ويبقى النبات الجرثومي — على هيئة كرة ذات

جدار عقيم بداخله الجراثيم ـ محصوراً داخل الجدار الأرشيجونى (Calyptra) ومطموراً فى الثالوس ، ويذوى عنق الأرشيجونة فى جزئه العلوى ويتخذ لوناً بنيا داكنا. وتبدو النباتات الجرثومية من الخارج كبقع بنية اللون داخل الثالوس ، ويستمر الطور الجرثومى متطفلا على النبات المشيجى تطفلا تاماً ما بقى الأخير حياً، فليست هناك آلية خاصة لتمزيق وانفتاح النبات الجرثومى وتحرير ما بداخله من جراثيم، ولكن تتحرر الجراثيم فقط عندما يموت النبات المشيجى أو ينحل أو يتمزق جدار النبات الجرثومى بسبب تعرضه تعرضاً مباشراً للمؤثرات الخارجية .

ولكل جرثومة جداران ، جدار خارجى (Exine) غليظ معتم اللون (شكل ٢٣٠)



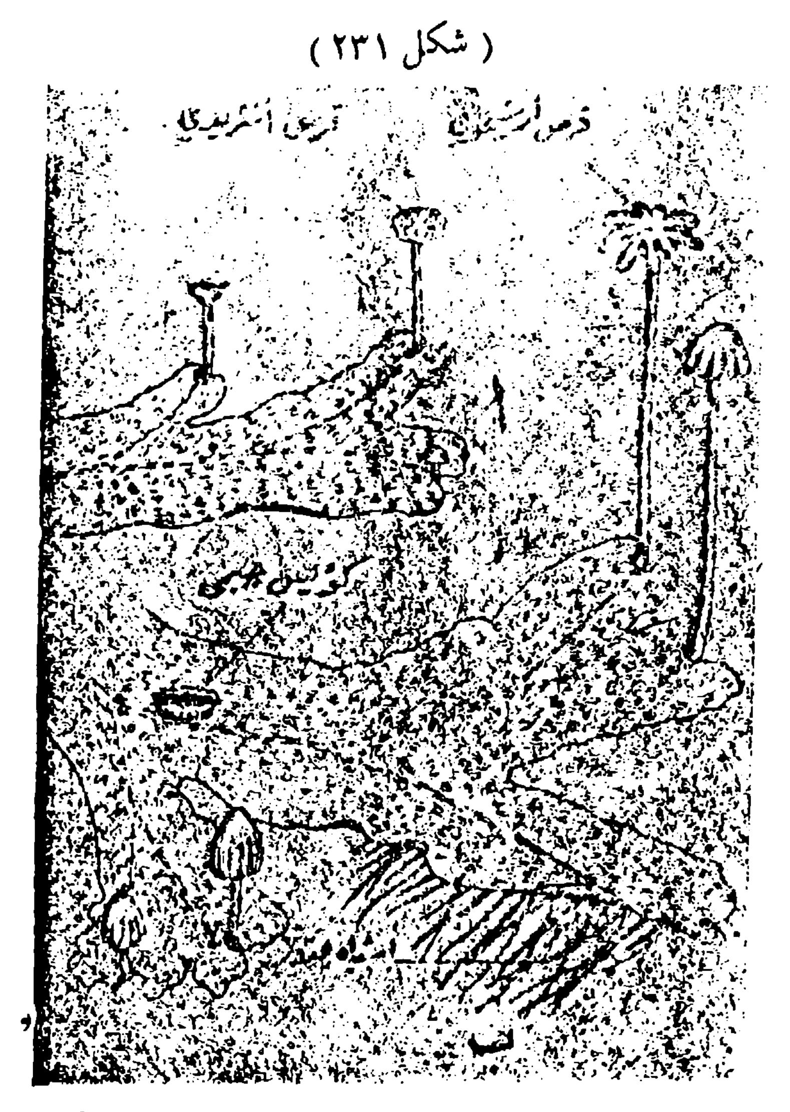
٢٣٠ ـ دورة حياة الريشيا (عن روبنر وربكت)

وجدار داخلى (Intine) عديم اللون ورقيق ، وعند إنبات الجرثومة — فى الظروف المناسبة — يتمزق الجدار الخارجى ويستطيل الجدار الداخلى ويمتد ليكون أنبوبة تعرف بأنبوبة الإنبــات (Germ tube) ، توالى الاستطالة والانقسام والانبساط حتى تكون نباتاً مشيجياً جديدا وتعيد دورة الحياة (شكل ٢٣٠) .

الماركانتيا

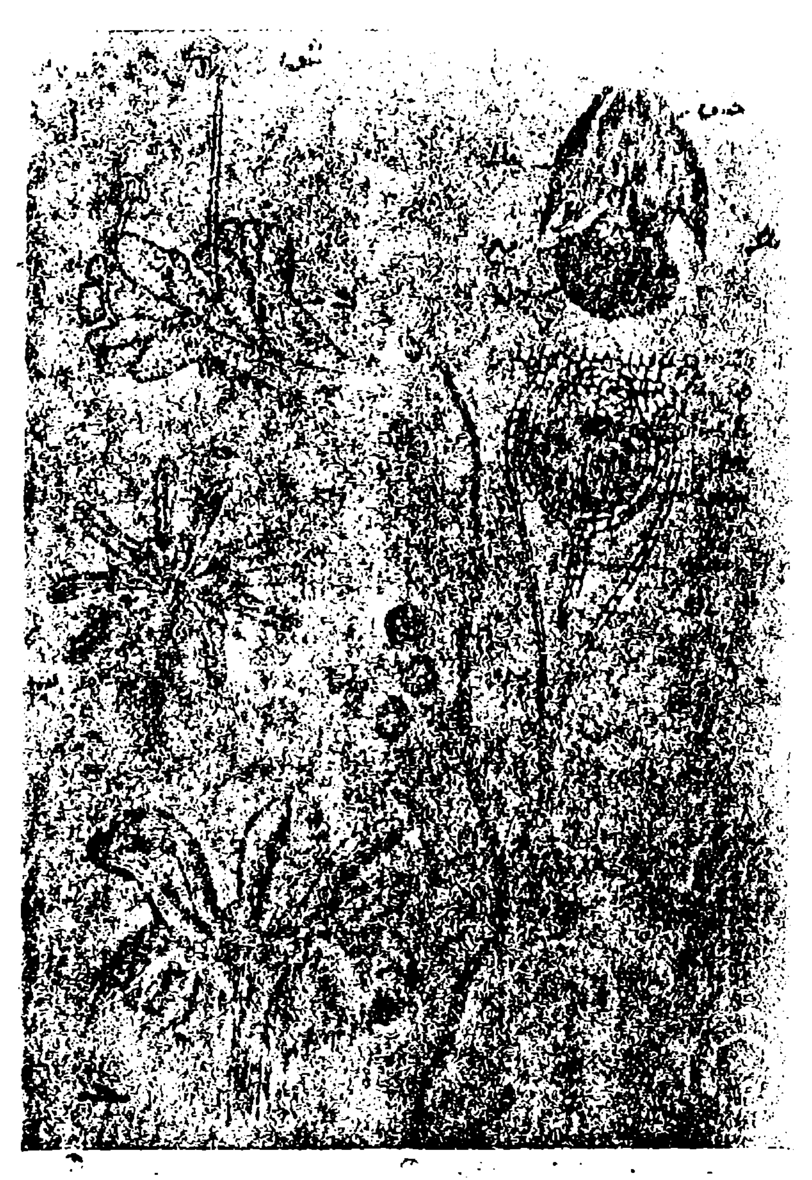
النبات المشيجى فى الماركانتيا (Marchantia) — كما فى (شكل ٢٣١)

(شكل ٢٣١)



ماركانتيا (.Marchantia sp) أ – نبات ذكرى .   ب – نبات أنثوى .

(شكل ٢٣٢)



ماركانتيا بوليمورفا (Marchantia Polymorpha) . أ – نبات مشيجى أنثوى يشمل حوامل أرشيجونية (ش) ذات أعمار مختلفة وكأسين جيميين (ك) حجم طبيعى ب – منظر السطح الأسفل لحامل أرشيجونى يبين ف = فص ، سم = ستار كاذب ، ج = كيس جرثومى . جـ = قطاع طولى فى حامل أرشيجونى . د = قطاع طولى فى نبات جرثومى صغير . يتكون من : ق = قدم ، نج = نسيج جرثومى ، جع = جدار علبة ، جش = جدار أرشيجونة عش = عنق أرشيجونة ، غك = غلاف كاذب . هـ –كيس جرثومى معنق وممزق يحتوى على جل =أجراثيم وناثرات ،و= ناثرواحد ، ز = جرثومه كاملة النضج محتوية على مواد غذائية مخزونة محتوية على هيئة نقيطات .

يشبه إلى حد ما نظيره فى الريشيا، إلا أنه أكبر منه حجما، فهو ثالوسى مفلطح منتفخ فى الوسط ، يتفرع تفرعا ثنائى الشعب ، وتتميز على سطحه العلوى مساحات سداسية تحدد أشكال ما تحتها من حجرات تمثيلية (Assimilating chambers) ، وتتوسط كل مساحة فتحة تصل ما بين الحجرة والخارج .

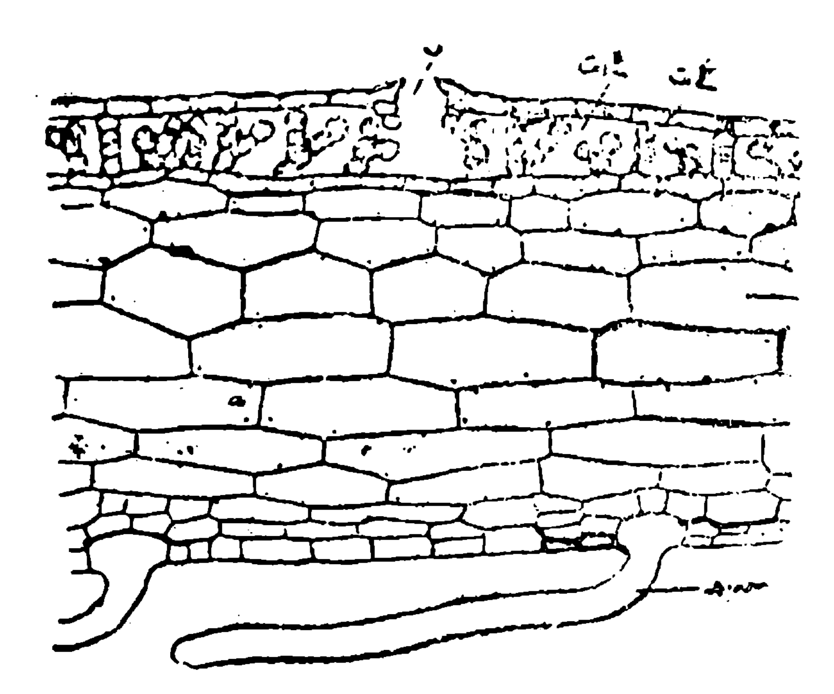
تركيب الثالوس :

يتميز الثالوس داخلياً – كما هو الحال فى الريشيا – إلى نسيج تمثيلى علوى وآخر تخزينى سفلى ، إلا أن الخيوط التمثيلية توجد داخل حجرات تمثيلية ، وتتصل كل حجرة بالخارج عن طريق فتحة فى سقفها العلوى (شكل ٢٣٣) ، وتتخذ هذه الفتحة شكل قناة قصيرة محاطة بجدار من صفوف رأسية من الخلايا ، وهى مفتوحة على الدوام وتقابل الثغور فى النباتات الراقية . وخلايا البشرة تكون خالية تماماً من البلاستيدات الخضر ، التى يقتصر وجودها على الخيوط التمثيلية المكونة للنسيج التمثيلى الرئيسى للثالوس ، وتفصل الحجرات التمثيلية عن بعضها البعض حواجز رقيقة ، أما النسيج التخزينى فيتكون أساسياً من خلايا شبه بارنشيمية ، وهو خال من البلاستيدات الخضر ، ويحتوى على أجسام لامعة مليئة بالقطرات الزيتية ، ويغطى السطح السفلى ببشرة سفلية تنبثق منها أشباه جذور وحراشيف .

طرق التكاثر :

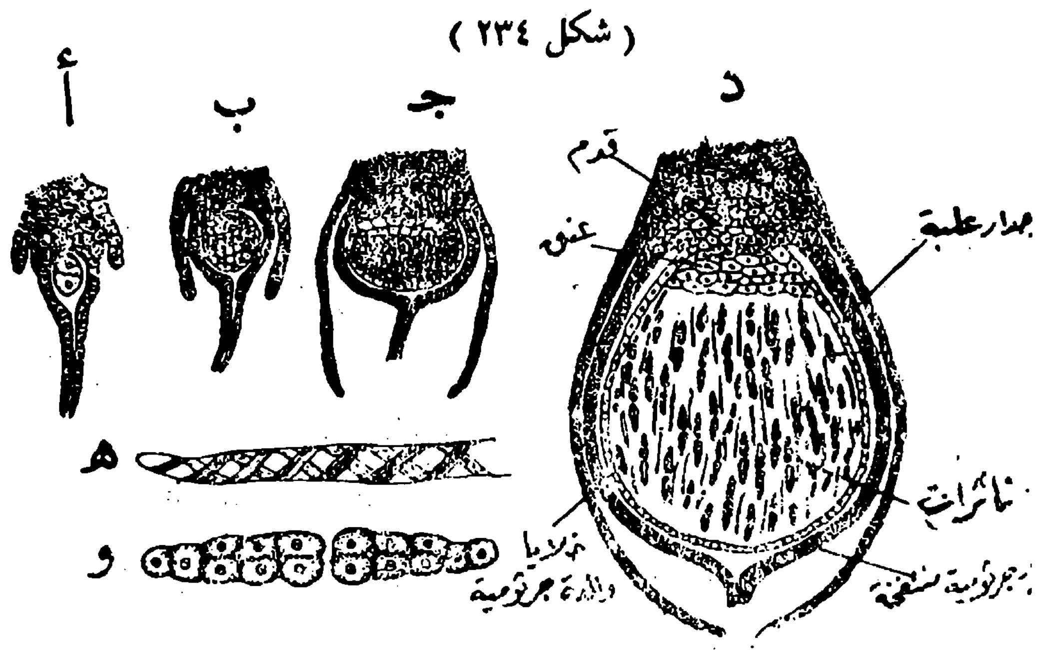
هناك نوعان من التكاثر ، تكاثر خضرى وتناسل جنسى ، ويحدث التكاثر الخضرى بإحدى طريقتين : التفتت (Fragmentation) ، أو تكوين أعضاء خاصة تعرف بالجميات (Gemmae) ، أما التفتت فيحدث بانقسام الثالوس إلى عدد من الوحدات ، تستطيع كل وحدة منها أن تنمو لتعطى نباتاً مشيجياً جديداً . أما الجميات فتعد بمثابة بروزات من السطح الظهرى للثالوس ، وتوجد داخل كؤوس خاصة تعرف بالكؤوس الجيمية (Gemmae cups) ، تنتظم عادة على السطح العلوى للثالوس (شكلا ٢٣١ ، ٢٣٢) ،

(شكل ٢٣٣)



قطاع مستعرض فى النبات المشيجى للماركانتيا يبين الحجرة التمثيلية (غ . ت) بداخلها الخيوط التمثيلية (خ . ت) ، وتتوسط كل حجرة فتحة (ف)، و النسيج التخزينى (س. ت) ، وتنبثق أشباه جذور (ش . ج) من السطح السفلى (من هوبت) .

(شكل ٢٣٤)



مراحل تكوين الطور الجرثومى فى الماركانتيا (Marchantia sp.) أ – الانقسام الأول للزيجوت (اللاقحة) ، ب – جنين متعدد الخلايا ، جـ – جنين أكبر سنا، القدم بدأت فى اختراق نسيج النبات المشيجى وخلايا العنق تميزت ، د – نبات جرثومى ناضج . هـ – جزء من إحدى الناثرات ، و – مجموعة من الخلايا الوالدة للجراثيم مكبرة .

وتنفصل كل جيمة لتعطى مباشرة ثالوساً جديداً .

التناسل الجنسى :

تختلف الماركانتيا عن الريشيا فى عدم انتظام الأعضاء الجنسية مباشرة على الثالوس ، بل توجد على زوائد قائمة تخرج من السطح العلوى للثالوس ، وتعرف بحوامل الأعضاء الجنسية . وتتميز إلى حوامل أنثريدية (Antheri-diophores) وحوامل أرشيجونية (Archegoniophores) بحسب ما إذا كانت حاملة للأنثريدات أو للأرشيجونات ، ويتكون كل حامل من ساق أسطوانية الشكل تنتهى بقرص منتفخ فى أعلاها .

الحامل الأنثريدى : يكون قرص الحامل الأنثريدى مفصصاً ، به تسعة فصوص غالباً ، وتنتظم الأنثريدات داخل تجاويف فى خطوط قطرية على السطح العلوى للقرص (شكل ٢٣١ أ) . ولما كانت البثرات التى بين الفصوص تمثل القمم النامية للقرص ، فإن أحدث الأنثريدات سناً وأصغرها حجماً تكون أقربها من حافة القرص ، وتزداد فى الحجم والسن بالتدريج كلما اتجهنا نحو المركز .

الحامل الأرشيجونى : يكون الحامل الأرشيجونى أكبر حجماً من الحامل الأنثريدى ، وفيه تستطيل الفصوص عند حافة القرص لتكون زوائد شبيهة بأصابع اليد ، وتنحنى البثرات — أو القمم النامية — إلى أسفل القرص أثناء النمو حتى تصل إلى قرب منطقة اتصال الساق بالقرص على السطح السفلى ، ومن ثم تنتظم الأرشيجونات على السطح السفلى للقرص (شكلا ٢٣١ ، ٢٣٢ ب) فى ترتيب مغاير لترتيب الأنثريدات ، فتقع أصغرالأرشيجونات وأحدثها قرب الساق ، وتزداد تدريجياً فى الحجم والعمر كلما اتجهنا نحو الحافة . ويوجد غلاف كاذب (Pseudoperianth) عنـــد قاعدة كل أرشيجونة ، كما يحاط كل صف من الأرشيجونات من كل جانب بستار مغلف (Perichaetial flap) :

الإخصاب وتكوين النبات الجرثومى (البوغى) :

يظل عنق الحامل الأرشيجونى — قبل الإخصاب — قصيراً حتى تكون الأرشيجونات على مقربة من التربة والماء ، وتتحرر السابحات الذكرية من الأنثريدة وتعوم فى الماء بأهدابها ، حتى تصل إلى الأرشيجونة فتلقحها ، وتندمج نواة السابحة الذكرية مع نواة البيضة ، فتتحول الأخيرة إلى لاقحة ، تأخذ فى الانقسام داخلياً وتتميز خارجياً لتكوين النبات الجرثومى الذى يتشكل إلى قدم (Foot) وعنق (Seta) وصماد أو علبة (Capsule) ، ويظل على اتصال بالثالوس المشيجى بوساطة القدم ، الذى يعد بمثابة عضو مثبت وماص ، ويستمر النبات الجرثومى طول حياته متطفلا على النبات المشيجى (شكلا ٢٣٤ ، ٢٣٥) .

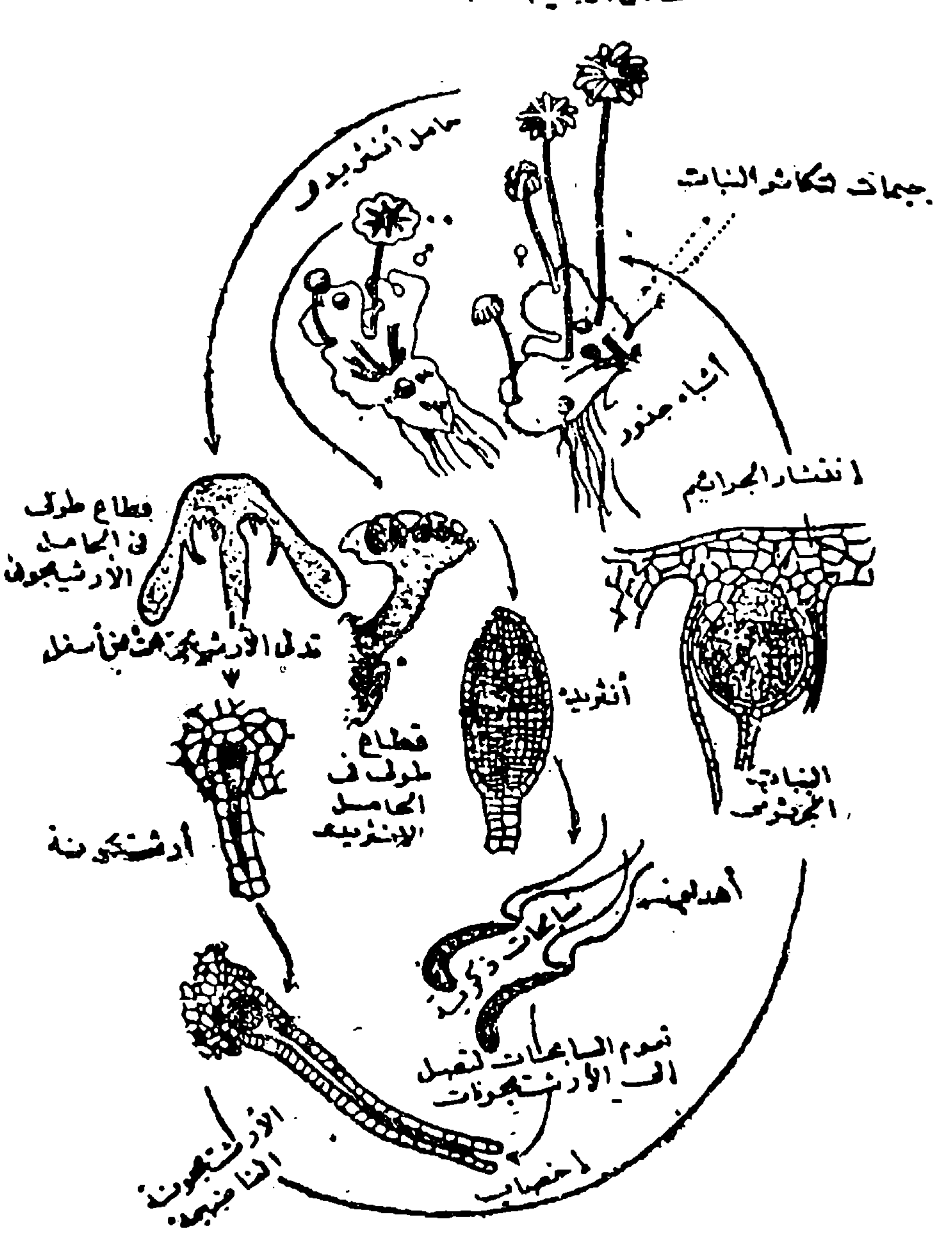
وبينما تسهم جميع الخلايا الناتجة عن انقسام اللاقحة فى الريشيا فى إنتاج الخلايا الوالدة للجراثيم ، فإن النبات البوغى (الجرثومى) فى الماركانتيا يتميز بزيادة نسبة الأجزاء العقيمة ، التى تتمثل فى التشكل الخارجى للنبات واقتصار وجود الخلايا الوالدة الجرثومية — المنتجة للجراثيم أو الأبواغ — داخل الصماد ، ولا يقتصر التعقيم على اقتطاع القدم والعنق من الأعضاء المنتجة للأبواغ ، بل يمتد إلى بعض الخلايا الوالدة الجرثومية داخل الصماد ، فتفقد تلك محتوياتها وتستطيل وتظهر بداخلها تغلظات لولبية ، وتعرف مثل هــذه الخلايا الوالدة العقيمة بالناثرات (Elaters) ، (شكل ٢٣٤) ، وهى تساعد على انتشار الجراثيم بفضل طبيعتها الإيجروسكوبية . ويوجد عنــد قمة الصماد غطاء (Operculum or lid) ينفصل بمجرد اكتمال نضج الجراثيم ، فيترك بذلك فتحة عند قمة الصماد تنتثر عن طريقها الأبواغ ، وتنبت كل جرثومة تحت الظروف المواتية لتعطى نباتاً مشيجياً وتعيد دورة الحياة ، ويرى فى (شكل ٢٣٥) ملخص دورة حياة الماركانتيا .

ثانياً : النباتات الحزازية

الفيوناريا

توجد الفيوناريا (Funaria) بالقطر المصرى فى الأماكن الرطبة ، وتنمو متكاثفة بحيث تغطى مساحات شاسعة من الأرض . ويمثل النبات السائد

(شكل ٢٣٥)



ملخص دورة حياة الماركانتيا (عن نلسون)

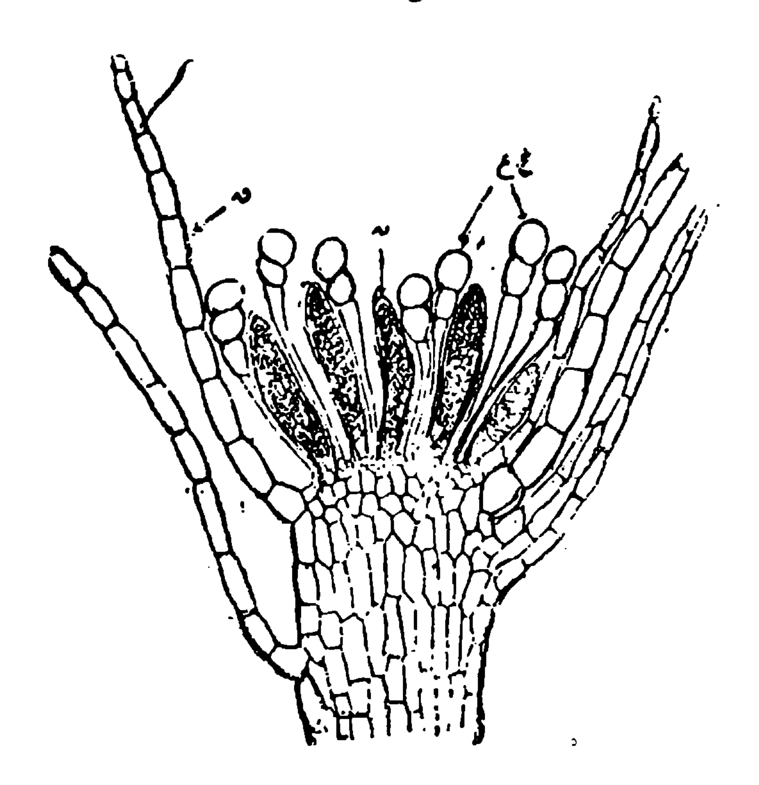
ر المشيجى فى دورة الحياة ، وهو ورقى — بمعنى أنه يتميز خارجياً إلى
قائمة وأوراق — وتنتظم الأوراق فى ثلاثة صفوف انتظاماً حلزونياً على
، وتكاد تغطيها ، وهى صغيرة الحجم وتتكون من طبقة واحدة من
ايا ولها عرق وسطى متميز . وليس للنبات جذور ، ولكن تنبثق من
ة الساق أشباه جذور متعددة الخلايا ، وتتميز الساق داخلياً إلى حزمة
ملة مركزية من خلايا متشابهة صغيرة ورقيقة الجدران — لا يستبين فيها
ب أو لحاء — تحيط بها قشرة ثم بشرة .

أما الأعضاء الجنسية — من أنثريدات وأرشيجونات — فتتجمع عند
ـ الساق أو الفرع الجانبى على جزء منتفخ ومنبسط يعرف بالتخت
(Recepta . وتتكون الأنثريدات صولجانية الشكل ذوات أعناق
رة ، وتنتشر بينها خيوط عقيمة تنتهى بخلايا منتفخة (شكل ٢٣٦) ،
كون كل خيط منها من صف واحد من خلايا — تحتوى على بلاستيدات
ر — ويأخذ حجمها فى الازدياد تدريجياً كلما اتجهنا صوب القمة .
ط بالتركيب جميعه من أنثريدات وخيوط عقيمة قلافة (Involucre) ،
لك تختلط بالأرشيجونات خيوط عقيمة متعددة الخلايا — خلاياها
فية مدببة — وتحيط بها قلافة (شكل ٢٢٤ : أ) . وتكون جدر
وط العقيمة غالباً بنية اللون — لا سيما فى الأجزاء السفلية منها — وتحتوى
ع خلاياها على بلاستيدات خضر . ويشبه التركيب جميعه — من أعضاء
سية تتخللها خيوط عقيمة وتحيط بها قلافة — الزهرة ، فإذا كانت
حتوى إلا على أنثريدات فقط سميت بالزهرة الحزازية الذكرية (Male
moss flov ، وإذا احتوت فقط على أرشيجونات سميت بالزهرة
ـزازية الأنثوية (Female moss flower) . أما إذا احتوت على
ثريدات والأرشيجونات معاً — مختلطين بالخيوط العقيمة — سميت بالزهرة
ازية الخنثوية (Hermaphrodite moss flower) .

وتتباين النباتات المشيجية فى الأنواع المختلفة للفيوناريا من حيث كونها
دية المسكن أو ثنائية المسكن ، ففى الأنواع ثنائية المسكن يتميز النبات

المشيجى إلى نبــات ذكرى يحمــل أزهـاراً حـزازية لا تحتوى إلا على أنثريدات وإلى نبات أنثـوى لا يحمـل سوى أرشيجونات. أما فى الأنواع أحادية المسكن فقــد يحمل النبات المشيجى أزهاراً حزازية خنثوية ، أو تحمل فروع منه أزهاراً ذكرية وتحمل أخرى أزهاراً أنثوية .

(شكل ٢٣٦)



قطاع طولى فى نبات مشيجى ذكرى لفيوناريا يبين الغلافة (ف) والأنثريدة (ن) والخيوط العقيمة (خ ع) (عن فرتش وسالسبورى) .

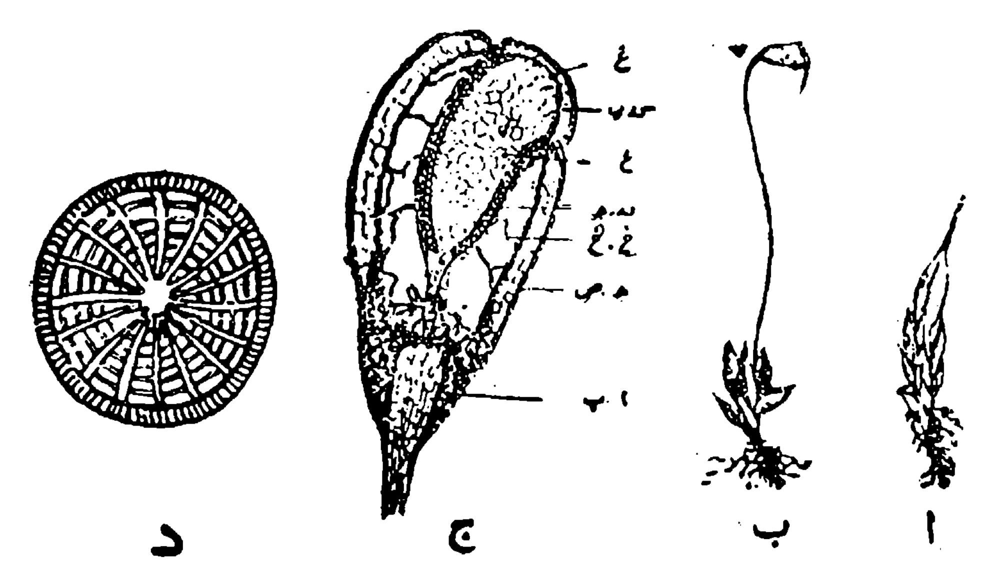
وتنشأ كل أنثريدة من خلية من سطح التخت ، تنقسم إلى خليتين ، تكون السفلى منهما العنق وتستطيل العليا لتكون الأنثريدة . وتتميز كل أنثريدة إلى جدار خارجى من طبقة واحدة من الخلايا بداخلها النسيج المولد للسابحات الذكرية (شكل ٢٣٦) . وتعطى كل خلية والدة سابحتين ذكريتين كل منهما كمثرية الشكل ثنائية الأهداب ، وعند اكتمال نضج الأنثريدة تتمزق عند القمة وتتحرر منها السابحات الذكرية فى كتل متكاثفة .

أما الأرشيجونة الناضجة فتكون معنقة وتتميز إلى بطن وعنق ، ويحتوى الأخير على عدد كبير من الخلايا القنوية العنقية (شكل ٢٢٤ : ب) .

ويحدث الإخصاب فى وجود الماء ، حيث تتخذ السابحات الذكرية طريقها إلى داخل الأرشيجونة لتصل إلى البيضة فتلقحها ويتم الإخصاب . ومع أن الإخصاب قد يحدث فى أكثر من أرشيجونة ، فإن نباتاً جرثومياً (بوغياً) واحداً هو الذى يتميز غالباً على ساق النبات المشيجى الأنثوى (شكل ٢٣٧ : أ ، ب) . وتنقسم اللاقحة بعد الإخصاب بجدار مستعرض إلى خليتين ، تأخذ كل خلية منهما فى متابعة الانقسام لتعطى تركيباً مستطيلا — من خلايا صغيرة — تنتظم عند طرفه الخالص خلية كبيرة . أما الخلية الكبيرة المجاورة لعنق الأرشيجونة فتتميز فيما بعد إلى العلبة ، وتتميز الخلية الكبيرة الأخرى إلى قدم ، وتكون الخلايا الصغيرة التى بينهما الحامل . ويستمر الجـــدار الأرشيجونى — الكاليبترا (Calyptra) — فى الامتداد والاستطالة ليهيء بداخله مكاناً للنبات الجرثومى الصغير ، بينما يظل عنق الأرشيجونة عند طرف هذا التركيب العصوى الشكل بعض الوقت ، ولكن لا يلبث أن يتخذ لوناً بنياً بسبب موت خلاياه ويتميز عند قاعدة النبات الجرثومى الصغير — الملاصق للتخت — قدم (Foot) يعمـــل على تثبيت الجنين النامى فى نسيج النبات المشيجى ، وينتفخ الجزء العلوى لتكوين العلبة (Capsule) ، أما الجزء الوسطى — الواقع بين القـــدم والعلبة — فيكون الحامل (Seta) .

ويظل الجدار الأرشيجونى — أو الكاليبترا — محيطا بالنبات الجرثومى ، ويستمر فى الاستطالة بالتدريج لمواجهة الزيادة فى حجم ونمو النبات الجرثومى ، حتى لا تعود استطالة الجدار الأرشيجونى قادرة على مسايرة سرعة نمو النبات الجرثومى وازدياد حجمه فيتمزق الجدار الأرشيجونى ويتحرر النبات الجرثومى ، ويأخذ الحامل فى الاستطالة بسرعة منتهياً بالعلبة . ويستمر الجدار الممزق لفترة قصيرة مغطياً طرف العلبة ، ثم يتحول لونه إلى اللون البنى وأخيراً يسقط .

(شكل ٢٣٧)



الفيوناريا . (ا) النبات المشيجى الأنثوى وعليه النبات الجرثومى فى أولى مراحل تكوينه حيث يحيط به الجدار الأرشيجونى، (ب) النبات الجرثومى وقد تحرر من الجدار الأرشيجونى وتميز خارجيا إلى قدم وحامل وعلبة ، (ج) قطاع طولى فى العلبة مبينا : غطاء (غ) ، حيز جرثومى (ص . ب)، عويميد (ع) ، نسيج جرثومى (ن . ج) ، خيوط خلوية (خ . خ) ، جدار العلبة (ج . ع) والأبوفيسس (ا . ب) . (د) منظر سطحى للأسنان البريستومية .

والنبات الجرثومى الناضج يتميز خارجياً إلى الأجزاء الثلاثة الآتية (شكل ٢٣٧ : ب) :

(ا) **القدم** (Foot) : وهو جزء قاعدى منتفخ وقصير ، يعمل كعضو مثبت وماص ، إذ يساعد على تثبيت النبات الجرثومى على الطور المشيجى وعلى امتصاص الغذاء منه .

(ب) **الحامل** (Seta) : ويعد كعضو موصل ، إذ يساعد على توصيل الغذاء من القدم إلى العلبة .

(ج) **العلبة** (Capsule) : وهى الجزء الخصيب من النبات الجرثومى (البوغى) الذى يحتوى بداخله الخلايا الوالدة الجرثومية المنتجة للجراثيم (الأبواغ) .

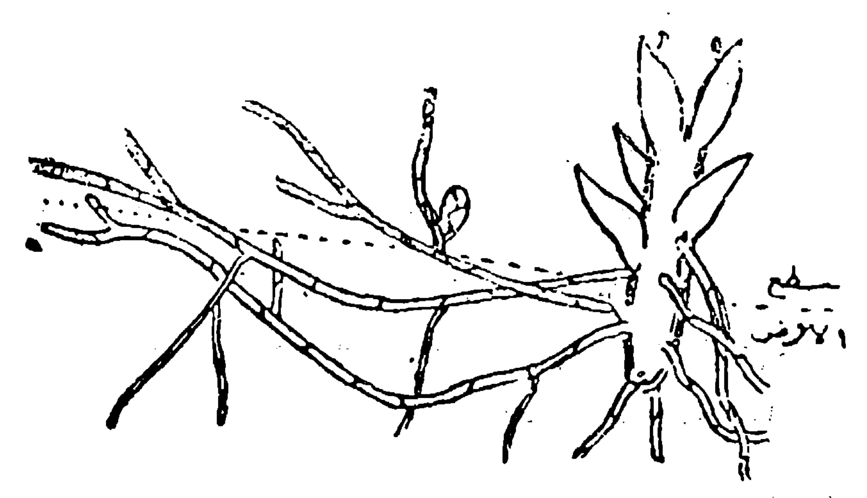
وتتميز العلبة داخلياً – كما يرى فى قطاع طولى (شكل ٢٣٧ ج) – كما يأتى : توجد عند منطقة اتصال الحامل بالعلبة منطقة غنية بالبلاستيدات الخضر وبالثغور ، تعرف بالأبوفيسيس (Apophysis) ، يدل وجودها على أن النبات الجرثومى يستطيع أن يساهم إلى حد ما فى استيفاء بعض احتياجاته من المواد الكربوإيدراتية ، أو بمعنى آخر أن تطفل النبات الجرثومى على النبات المشيجى تطفل جزئى ، وليس تطفلا كاملا كما هو الحال فى الريشيا . أما النسيج الجرثومى (Archesporium) فيوجد على هيئة اسطوانة مفتوحة الطرفين. تحدها من الداخل والخارج اسطوانتان أخريان من طبقة تعرف بالطبقة الطرازية (Tapetal layer) ، لا تلبث أن تنحل خلاياها إلى مادة غذائية لإمـــداد الجراثيم بما تحتاج إليه من غذاء لاستكمال نموها . أما التجويف الداخلى للاسطوانة الجرثومية فيشغله نسيج عقيم يعرف بالعويميد (Columella) .

ويوجد بين الاسطوانة الجرثومية والجدار الخارجى للعلبة تجويف هوائى (Air cavity) ، إلا أن هناك خيوطاً خلوية (Trabeculae) تصل ما بين الاسطوانة الجرثومية وجدار العلبة ، ويوجد عند قمة العلبة غطاء (Operculum or lid) قبوى الشكل ، تقع عند قاعدته حلقة (Annulus) تتكون من خلايا رقيقة الجدر ، وتقع تحت الغطاء مباشرة طبقة من أسنان منفصلة – تنتظم على هيئة حلقة قبوية الشكل (شكل ٢٣٧ : د)–تعرف بالأسنان البريستومية (Peristome teeth) ، وعددها ست عشرة غالباً ، وتتميز خلايا الأسنان البريستومية بتأدم جدرها الخارجية والداخلية ، أما جدرها القطرية فتتكون من سليلوز غير متأدم .

وعند اكتمال نضج الجراثيم وجفاف العلبة ، تنحل خلايا الحلقة ذات الجدر الرقيقة ، وبذلك ينفصل الغطاء ، ومن ثم تتعرض الأسنان البريستومية للخارج تعرضاً مباشراً . ولما كانت هذه الأسنان إيجروسكوبية – بمعنى أنها شديدة الحساسية للرطوبة الجوية – فهى تنفتح عند الجفاف وتنغلق عند وفرة الرطوبة ، وبذلك تنتثر الجراثيم وقت الجفاف إذا اهتز الحامل بتأثير الرياح ،

حيث تأخذ كل جرثومة فى الإنبات — عند توفر الظروف المواتية — لتعطى طوراً خيطياً مميزاً (شكل ٢٣٨) يعرف بالخيط الأولى أو البروتونيما . (Protonema)

(شكل ٢٣٨)



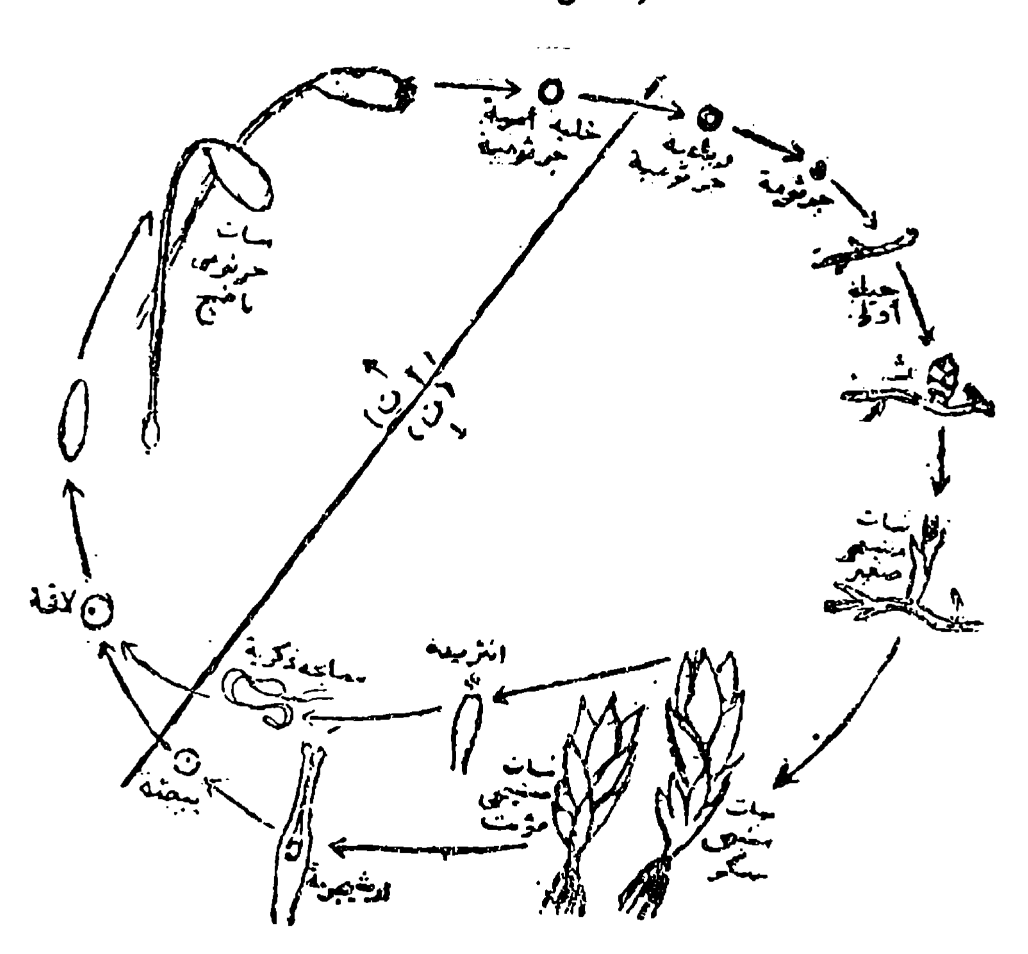
الخيط الأولى — أو البروتونيما — يبين برعما مميزا ونباتا مشيجيا ناتجا عن نمو سابق على نفس الخيط . وترى فى الخيط الجدر المستعرضة المائلة وأشباه الجذور .

ويتكون الخيط الأولى من جزء فوق أرضى أخضر اللون وأشباء جذور عديمة اللون تتعمق فى التربة ، ويشبه الجزء فوق الأرضى من الخيط الأولى الخيط الطحلبى الأخضر من حيث تكونه من صف من خلايا تحتوى على بلاستيدات خضر ، إلا أنه يتميز عن الخيط الطحلبى بأن الجدر الفاصلة بين الخلايا مائلة (شكل ٢٣٨) ، وتنبثق من الخيط الأولى عدة أشباه جذور صغيرة تأخذ طريقها متعمقة فى التربة وتشبه إلى حد كبير أشباه الجذور الممتدة من قاعدة النبات المشيجى ، إلا أنهـا تتميز عنها بجدرها المستعرضة المائلة .

وتتكون على فروع صغيرة من الخيط الأولى — خلف الجدر المستعرضة المائلة عادة — خلايا كرية إلى حد ما ، تأخذ كل واحدة منها فى الانقسام داخلياً لتكون برعماً جانبياً ، يستمر فى النمو والانقسام داخلياً ليكون نباتاً مشيجياً ، لا يلبث أن يفقد صلته بالخيط الأولى بمجرد تكوين أشباه الجذور ،

تميز على كل خيط أولى عدد من النباتات المشيجية . ويرى فى (شكل ٢٣٩) ملخص دورة حياة الفيوناريا .

(شكل ٢٣٩)



ملخص دورة حياة الفيوناريا ، حيث تكون جميع خلايا التراكيب الواقعة فوق الخط الفاصل ثنائية المجموعة الصبغية (٢ ن) ، وتلك الواقعة تحته أحادية المجموعة الصبغية (ن)

الباب الثالث والعشرون

النباتات البترية والميكروفيلية

PTEROPHYTA AND MICROPHYLLOPHYTA

قسم النباتات البترية أحد ثمانية أقسام كبيرة من نباتات وعائية ، أى ذوات أجهزة توصيل تتركب من خشب ولحاء ، فهى فى هذه الناحية أرقى من قسمى النباتات الكبدية والحزازية ، ولكنها من ناحية أخرى على نفس مستواهما البدائى من حيث التكاثر بالجراثيم كالثالوسيات وليس بالبذور كالنباتات البذرية ، ومن ثم جاءت تسمية هذه الأقسام بالنباتات الوعائية غير البذرية .

وبعض أقسام النباتات الوعائية غير البذرية ممثلة بنباتات جميعها حفرية منقرضة : مثل أقسام النباتات الرينياوية Rhyniophyta والزوستيروفيلية Zosterophyllophyta والترميروفيتية Trimerophytophyta والأنيوروفيتية ، Aneurophyta وبعضها ممثلة بنباتات جميعها حية ، أى تعيش فى عصرنا الحاضر ، مثل قسم النباتات البسيلوتية Psilotophyta ، والبقية تمثل بعض طوائفها أو رتبها أو فصائلها أو أجناسها نباتات حية معاصرة بينما تمثل بقية نباتاتها نباتات حفرية منقرضة ، وتلك الأقسام المختلطة هى أقسام النباتات الميكروفيلية Microphyllophyta والمفصلية Arthrophyta والبترية Pterophyta .

ويرجع اختيار قسم النباتات البترية كممثل لهذه المجموعة الكبيرة من الأرشيجونيات إلى عدة أسباب أهمها ما يأتى :

١ — أنه أكبر أقسام المجموعة .

٢ — أنه يضم مجموعة النباتات المعروفة باسم السراخس وهى واسعة الانتشار فى جميع أنواع البيئات وعلى مستوى العالم كله .

٣ — أن به أكبر مجموعة من الصفات المشتركة مع بقية أقسام النباتات الوعائية اللابذرية .

أما اختيار قسم النباتات الميكروفيلية فيرجع إلى كونه يضم رتبة الرصنيات ، وهى نباتات متباينة الجراثيم ، وظاهرة تباين الجراثيم أقرب إلى الحالة البذرية من ظاهرة تشابه الجراثيم التى يمثلها نبات كزبرة البئر .

وسندرس هنا نبات كزبرة البئر **Adiantum Capillus-veneris** كمثال للنباتات البتيرية ونبات الرصن **Selaginella** كمثال للنباتات الميكروفيلية .

(شكل ٢٤٠)

(ا) (ب)

سرخس « عديد الارجل » (**Polypodium**) يبين : (ا) التشكيل الخارجى للنبات الجرثومى الى ريزومة وأوراق سرخسية وجذور عرضية ، (ب) جزء من ريشة تنتظم على سطحها السفلى بثرات مكونة من حوافظ جرثومية متشابهة.

تشبه النباتات البتيرية الحزازيات (Pterophyta) من حيث وجود طورين متميزين فى دورة الحياة، طور جرثومى وآخر مشيجى ، إلا أنها تختلف عن الحزازيات من حيث سيادة الطور الجرثومى — الذى يمثل النبات — وشدة ضمور الطور المشيجى. ويكون الطور الجرثومى على درجة كبيرة من التعقيد، حيث يتميز إلى سيقان وأوراق وجذور (شكل ٢٤٠ : ا)، لها حزم وعائية . وتنتظم الجراثيم داخل أكياس خاصة (شكل ٢٤٠ : ب) تعرف بالحوافظ الجرثومية . (Sporangia) . ونظراً لوجود أنسجة وعائية فى النباتات

البترية فإنها تسمى أحيـــاناً بالنباتات اللازهرية الوعائيـة (Vascular cryptogams) .

وتحتوى البتريات على أكثر من تسعة آلاف نوع ، تعيش فى بيئات مختلفة ، فمنها الأرضية ومنها المائية ومنها ما تعيش عالقة على غيرها من نباتات ، وتكاد تكون جميعها عشبية فيما عدا السراخس الشجرية (Tree ferns) . وتختلف طريقة نمو النبات الجرثومى وحجمه باختلاف رتب النباتات البترية ، فيكون تفرع الساق فى بعضها ثنائى الشعب وفى البعض الآخر وحيدها .

وتعد البتريات من أقدم النباتات الوعائية المعروفة ، إذ بدأت فى الظهور منذ أقدم العصور الجيولوجية ، وكانت أوسع انتشاراً فى العصور الجيولوجية الأولى من النباتات الوعائية الراقية المعروفة حالياً واندثرت بعض رتبها ولا تعرف نباتاتها حالياً إلا فى حالة حفرية . وحافظت رتب أخرى على جنسها وما زالت أفرادها حتى الآن باقية .

وتتميز النباتات البترية جميعها بانتظام جراثيمها داخل حوافظ جرثومية وتتكون كل حافظة من جدار خارجى عقيم يحيط بالنسيج الجرثومى . وتختلف رتب البتريات من حيث طريقة انتظام الحوافظ الجرثومية على الأوراق ، ففى رتبة السرخسيات (Ferns or Filicales) يحمـــل النبات الجرثومى طرازاً واحداً من الأوراق ، وتنتظم حوافظ جرثومية متشابهة على السطح السفلى للورقة عادة (شكل ٢٤٠ : ب) ، بمعنى أن كل ورقة تقوم بالوظيفتين الخضرية والتناسلية معاً ، فليس هناك تقسيم عمل أو تخصص فسيولوجى بين أوراق النبات . وفى هذه الحالة تكون جميع الحوافظ الجرثومية والجراثيم متشابهة (Homospores) ، وتنبت كل جرثومة لتعطى نباتاً مشيجياً وحيد المسكن ، أى يحمل الأنثريدات والأرشيجونات معاً على نفس النبات .

أما فى رتبة الرصنيات (أو السلاجينلات) . Selaginellales — وهى إحدى رتب قسم النباتات الميكروفيلية — فيوجد تخصص فسيولوجى

أو تقسيم عمل بين أوراق النبات الجرثومى ، بمعنى تميزها إلى أوراق خضرية وأخرى جرثومية ، وتنتظم الحوافظ الجرثومية فى آباط الأوراق الجرثومية (Sporophylls) ، التى تتجمع عادة — على هيئة مخروط — عند أطراف السيقان والفروع ، ويمتد تقسيم العمل إلى الأوراق الجرثومية ذاتها ، فتتميز بدورها إلى أوراق جرثومية صغيرة ، تتأبط كل منها حافظة جرثومية صغيرة . وإلى أوراق جرثومية كبيرة . تتأبط كل منها حافظة جرثومية كبيرة . أما الحوافظ الجرثومية الصغيرة فتحتوى على جراثيم (أبواغ) صغيرة ، تعطى كل واحدة منها عند الإنبات نباتا مشيجياً ذكريا ، أما الحوافظ الكبيرة فتحتوى على جراثيم كبيرة ، تعطى كل واحدة منها عند الإنبات نباتاً مشيجياً أنثويا ، وتعرف هذه الظاهرة بتباين الجراثيم (Heterospory) ، وتصاحبها ظاهرة ثنائية المسكن(Dioecism) ، حيث ينتج عن إنبات هذه الجراثيم نباتات مشيجية ذكرية وأخرى أنثوية منفصلة .

السرخسيات

تمثل السرخسيات أكبر رتب النباتات البذرية الموجودة حالياً من حيث العدد ، إذ تحتوى على أكثر من ٧٨٠٠ نوع ، واسعة الانتشار على ظهر البسيطة . وتنمو غالبيتها فى الأماكن الظليلة الرطبة ، وتزدهر فى المناطق الاستوائية ، كما توجد أيضاً فى المناطق المعتدلة . وتظهر طريقة نمو النباتات الجرثومية تفاوتا كبيراً فى الأجناس السرخسية المختلفة ، فتكون بعض السراخس عشبية والبعض الاخر شجيرية أو شجرية . وتوجد السراخس العشبية عادة فى البلدان المعتدلة والباردة ، أما السراخس الشجيرية فتغطى تربة المناطق الدافئة . وتقتصر السراخس الشجرية على الغابات الاستوائية ، وتنمو إما زاحفة وإما متسلقة أو عالقة . وتنتشر السراخس تحت ظروف بيئية متباينة ، وتستطيع بعضها أن تتكيف لظروف الجفاف الصحراوية ، وقلة منها ملحية ، بمعنى أنها تعيش بجانب شواطئ البحار يمسها رذاذ المياه المالحة بين الحين والحين . وهناك مجموعة خاصة من السراخس — تعرف بالسراخس

المائيـــة (Hydropterideae) — تتميز بأنها متباينة الجراثيم وتعيش إماطافية أو مغمورة فى المـــاء .

الشكل الخارجى (شكل ٢٤٠ : ا) يتكون النبات الجرثومى من ريزومة تمتد أفقياً — فوق سطح التربة أو تحته — وتحمل أوراقاً على سطحها العلوى وجذوراً عرضيةعلى سطحها السفلى . وتتميز السراخس بكبر أوراقها — التى تعرف بالأوراق السرخسية (Fronds) — وتتكون كل ورقة من جزئين رئيسين : نصل ورقى ومحور ، ويتكون الأخير من جزء قاعدى يعرف بالعنق (Stipe) وجزء علوى يحمل النصل الورقى ، ويعرف بالحامل النصلى (Rachis) . وتغطى الريزومة وأعناق الأوراق حراشيف هشة كثيفة تعرف بإسم الرامنتا (Ramenta) .

(شكل ٢٤١)



شكل يوضح ظاهره الالتفاف الخطافى فى الأوراق السرخسية الصغيرة .

وتختلف أشكال الأوراق فى السراخس باختـــلاف الأجناس ، فتكون بسيطة فى بعضها كما فى سرخس لسانالأيل (Hart's tongue) المعـــروف علميـــاً بإسم « سكولوبندريم » (Scolopendrium) ، وريشية فى سراخس أخرى مثل سرخس بقلة الطحـــال البحرية أو « أســـبلينيم » (Asplenium) فإذا ما انقسمت كل ريشة إلى ريشـــات (Pinnules) أصبحت الورقة السرخسية ريشيـــة ثنائية (Bipinnate)

كما فى سرخس كزبرة البئر (Adiantum) وقد تنقسم كل رويشة بدورها إلى رويشات ثانوية (Secondary pinnules) وتوصف الورقة الريشية حينئـــذ بأنها ريشية ثلاثية (Tripinnate) كما فى سرخس الديشار (Pteris) . وتتميز الورقة السرخسية فى صغرها بالتفافها عند الطرف إلتفافاً خطافياً (Circinate vernation) ، وهى ظاهرة شكلية تختص بها السرخسيات دون غيرها من النباتات البتيرية (شكل ٢٤١) .

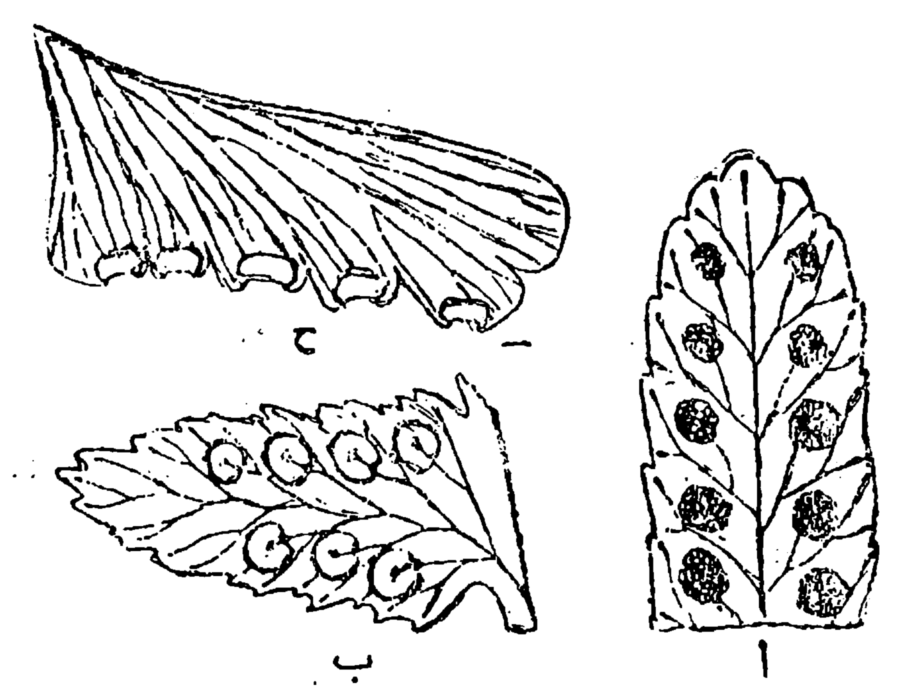
البثرات الجرثومية (البوغية) : : تحمل الأوراق السرخسية الحوافظ الجرثومية متجمعة فى بثرات بنية أو برتقالية اللون ، تنتظم على مشيمة (Placenta) تبرز من السطح السفلى للورقة السرخسية . وتبدأ كل حافظة جرثومية كخلية واحدة من خلايا بشرة المشيمة ، ثم تأخذ فى الاستطالة والانقسام. فتنقسم أولا بجدار مستعرض إلى خليتين ، تأخذ السفلى منها فى الانقسام بجدر مستعرضة وطولية لتكوين عنق الحافظة الجرثومية ، أما الخلية العليا فتنقسم لتكوين الحافظة ذاتها ، التى لا تلبث أن تتميز إلى جدار خارجى — مكون من طبقة واحدة من الخلايا — يضم النسيج الجرثومى وطبقة غذائية تعرف بالطبقة الطرازية (Tapetal layer) ، تقع بين جـــدار الحافظة والنسيج الجرثومى ، وينقسم النسيج الأخير إلى حوالى ست عشرة خلية والدة جرثومية ، تنقسم كل خلية منها مرتين — أولهما انقسام اختزالى — لتكوين رباعية جرثومية ((Spore tetrad) ، كل جرثومة أحادية المجموعة الصبغية وتنحل خلايا الطبقة الطرازية عند اكتمال نضج الجراثيم ، وتتحول إلى مادة هلامية تتغذى بها الجراثيم .

وتنتظم الحوافظ الجرثومية (البوغية) على تخت من المشيمة الورقية ، وتتجمع فى بثرة جرثومية (Sorus) ، وتتكون البثرة من حوافظ جرثومية تختلف فيما بينها من حيث أعمارها وأحجامها — وتعرف بالبثرة المختلطة (Mixtae sorus) — وتنتظم على تخت مشيمى يـــكون عادة مستوياً ، وتميز البثرة المختلطة غالبية السراخس الأرضية الحديثة التى تنتسب إلى الفصيلة السرخسية المعروفة بالفصيلة البوليبوديومية (Polypodiaceae) .

والبثْرة المختلطة إما أن تكون معراة كما فى سرخس بوليبوديوم (شكل ٢٤٢ : أ) ، أو محاطة بغطاء بثْرى (Indusium) . وتختلف نشأة هـذا الغطاء باختلاف الأجناس ، ففى السرخس الذكر (Dryopteris) ينشـأ الغطاء البثْرى عند طرف المشيمة الورقية ذاتها على هيئة تركيب كلوى الشكل يغطى البثْرة الجرثومية من الخارج ، ويعرف مثل هذا الغطاء بالغطاء البثْرى الصادق (True indusium) ، كما فى شـكلى (٢٤٢ : ب ، ٢٤٣) . أما فى سرخس كزبرة البـئر (Adiantum) فيتكون الغطاء البثْرى نتيجة لانثناء حافة الرويشة لتغطية البثْرة الجرثومية (شكل ٢٤٢ : ج) ، ويعرف فى هذه الحالة بالغطاء البثْرى الكاذب (False indusium) .

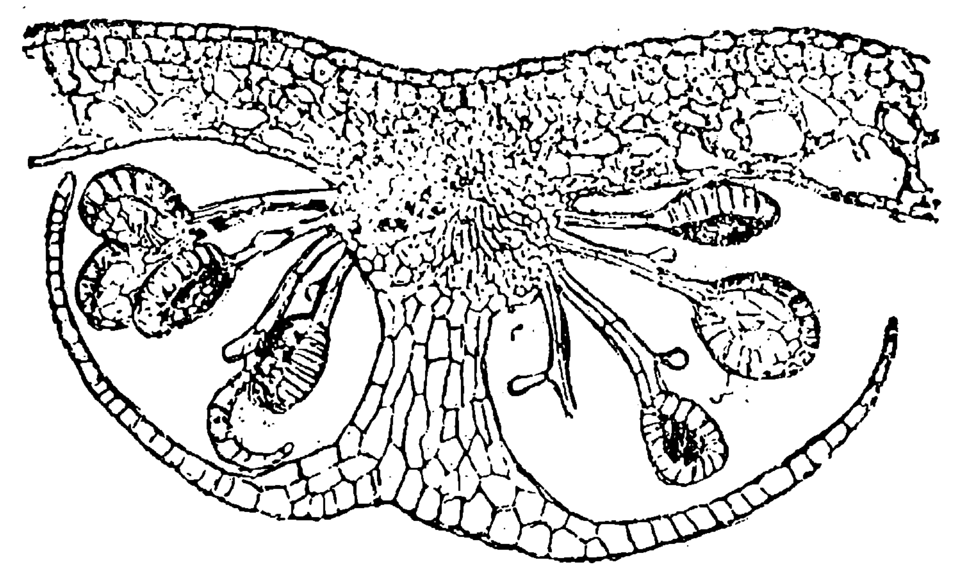
التركيب الوعائى للسرخسيات : يتكون الخشب فى السراخس من قصيبات وبارنشيمة خشب ، أما اللحاء فيتكون أساساً من أنابيب غربالية . والأعمدة

(شكل ٢٤٢)



الطرز المختلفة للبثرات الجرثومية المختلطة فى السراخس : (أ) معراة فى سرخس عديد الأرجل (Polypodium) ، (ب) صادقة الغطاء البثرى فى السرخس الذكر (Dryopteris) ، (ج) كاذبة الغطاء البثرى فى كزبرة البئر (Adiantum) (عن جونس)

(شكل ٢٤٣)



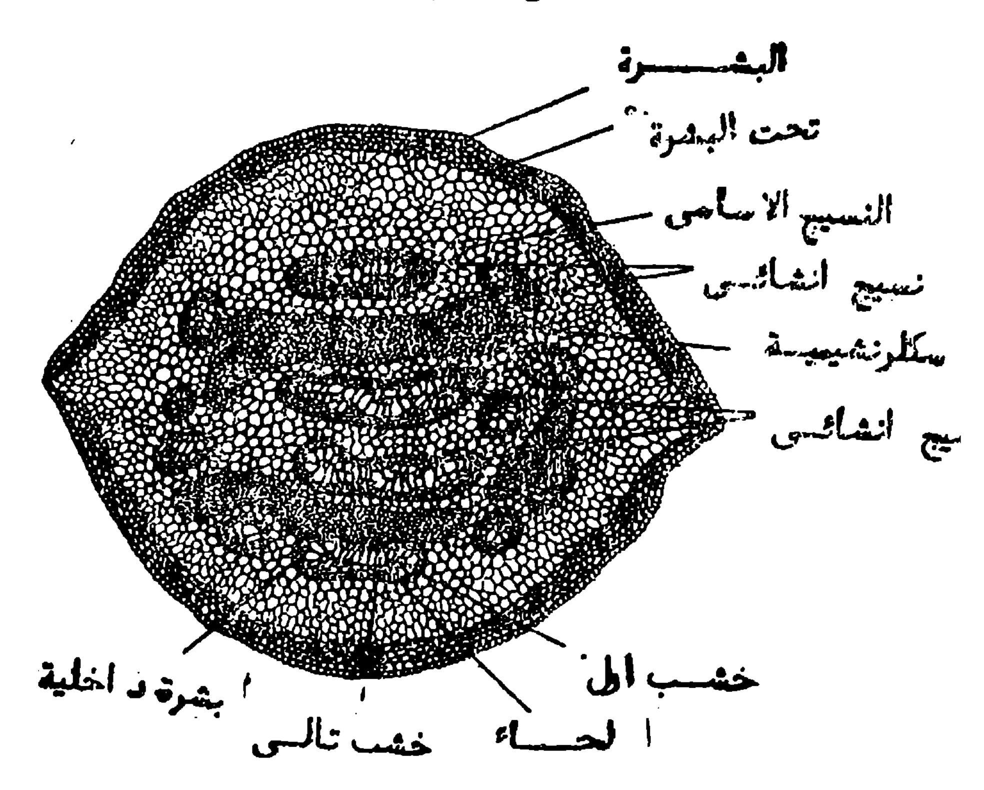
قطاع فى البشرة الجرثومية المختلطة للسرخس الذكر (Dryopteris) يبين طريقة انتظام الحوافظ الجرثومية المنفصلة على المشيمة الورقية (م) ، وترى أيضا الشعرة (س) والغطاء البثرى الصادق (د) عن (فرانش وسالسبورى).

الوعائية الجـــزئية (Meristeles) إما أن تكون وحيدة المحيط (Monocyclic) — بمعنى أنها تنتظم فى حلقة واحدة — كما فى ساق سرخس كزبرة البئر . وإما أن تكون ثنائية المحيط (Dicyclic) فتنتظم فى حلقتين (شكل ٢٤٤) كما فى سرخس الديشار (Pteris) .

ولا تتميز فى ساق السرخس قشرة ونخاع ، بل تنتشر الأعمدة الوعائية الجزئية فى النسيج الأساسى ، والعمود الوعائى الجزئى مركزى ، بمعنى أنه يتكون من خشب وسطى يحيط به لحاء ثم طبقة محيطيـــة وبشرة داخلية (شكل ٢٤٥) ، ويوجد الخشب الأول فى وسط منطقة الخشب ، يحيط به الخشب التالى من الخارج ، ولذلك يعد العمود الوعائى الجزئى وسطى الخشب الأول .

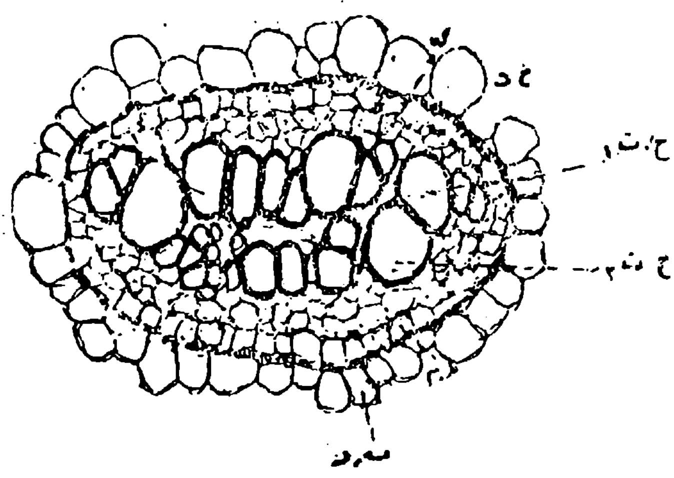
وسندرس دورة حيـــاة كزبرة البئر (Adiantum) — وهو سرخس شائع الوجود فى مصر — كمثل لدورة حياة السرخسيات .

(شكل ٢٤٤)



قطاع مستعرض فى ساق سرخس الديشاريين النسيج الأساس وقد انتظمت الأعمدة الوعائية
نزئبةفى محيطين ، وتوجد حزمة سكلرتشيميه بين محيطى الأعمدة الوعائية الجزئية ، وترى
ضاً لليشرة عن (روبنز وريكت) .

(شكل)٢٤٥



حزمة وعائية جزئية وسطية ا ب الاول (خ ١)
ويرى شب نالى مندفعا عن المركز (ت) وآخر
متجها نحوه (خ.ت) ، كما يرى حاء (ل) يحيط
بالخشب التالى (خ.ت) وتقع خا طبقة محيطية
(ط م) وبشرة داخلية (ب . د)

كزبرة البئر

يطلق على هذا السرخس إسم كزبرة البئر بسبب مشابهة أوراقه لأوراق نبات الكزبرة ، ولكثرة وجوده فى الآبار حيث يتوفر الظل والماء . وهو ينمو برياً وينتشر فى البلدان الدافئة ، ويكثر وجوده فى الأماكن الظليلة الوافرة الرطوبة مثل الآبار والسواقى ، وينمو بسهولة فى الصوبات الزجاجية ، ويستعمل كنبات زينة . وفى الهند تغلى أوراقه وريزوماته فى الماء . ويستغل المستخلص المائى للحد من النزلات الصدرية وعلاج المغص ونزلات البرد والزكام .

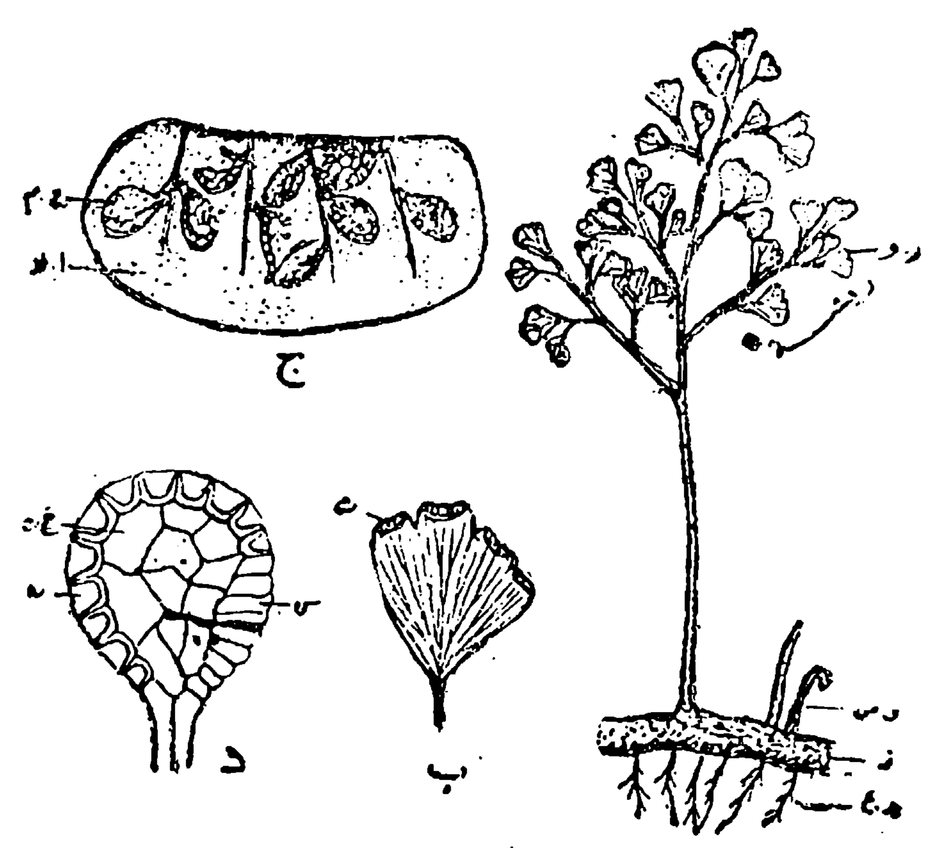
ويمثل النبات الطور الجرثومى فى دورة الحياة ، وتمتد الريزومة متعمقة تحت سطح التربة ، وتنبثق من سطحها السفلى جذور عرضية ومن سطحها العلوى أوراق سرخسية كبيرة، ريشية ثنائية (شكل ٢٤٦ : ا)، وتلتف الورقة السرخسية الصغيرة إلتفافاً خطافياً مميزاً (شكل ٢٤٦) . أما الورقة السرخسية الكبيرة فتتكون من عنق مغطى بحراشيف وحامل نصلى يحمل فروعاً جانبية ، يمثل كل فرع منها ريشة (Pinna) تنقسم إلى عدة رويشات (Pinnules) مثلثة أو وتدية الشكل (شكل ٢٤٦ : ب) . وتتجمع الحوافظ الجرثومية عند حافة الرويشة على سطحها السفلى على هيئة بثرات مستطيلة برتقالية اللون ، وتنثنى حافة الرويشة لتغطيها مكونة غطاء بثرياً كاذباً (شكلا ٢٤٢ ج ، ٢٤٦ ب،ج) .

وتتخذ الحافظة الجرثومية المعنقة شكل عدسة غليظة محدبة الوجهين ، يتكون جدارها الخارجى العقيم من طبقة واحدة من الخلايا ، إلا أنها ليست جميعها متشابهة (شكل٢٤٦ : د) إذ تتكون حافتها من حلقة من خلايا جدارية مميزة ، يتكون الجزء الأكبر منها — ويبلغ حوالى ثلثيها — من خلايا تتميز بشدة تغلظ جدرها المحيطية الداخلية والقطرية وبرقة جدرها المحيطية الخارجية والجانبية ، ويعرف هذا الجزء المميز من الحلقة الحافية للحافظة بالطوق (Annulus) ، أما الجـــزء الباقى من الحلقة فيعرف بالشق (Stomium) ،

وخلاياه رقيقة الجدر خالية من التغلظات المميزة للخلايا الطوقية ، أما خلايا الجدر الجانبية للحافظة الجرثومية فمفلطحة رقيقة الجدر .

آلية انفتاح الحافظة الجرثومية : عندما يكتمل نضج البثرة الجرثومية ، يجف الغطاء البثرى ويذبل ثم يسقط ، ومن ثم تتعرض الحوافظ الجرثومية للجفاف وتبدأ فى فقد ما بها من ماء . ويتم إنفتاح الحافظة الجرثومية — لتحرير ما بداخلها من جراثيم — على مرحلتين متتاليتين (شكل ٢٤٧) . ففى المرحلة الأولى تتمزق الحافظة الجرثومية فى منطقة الشق (شكل ٢٤٧ : ا) ويأخذ

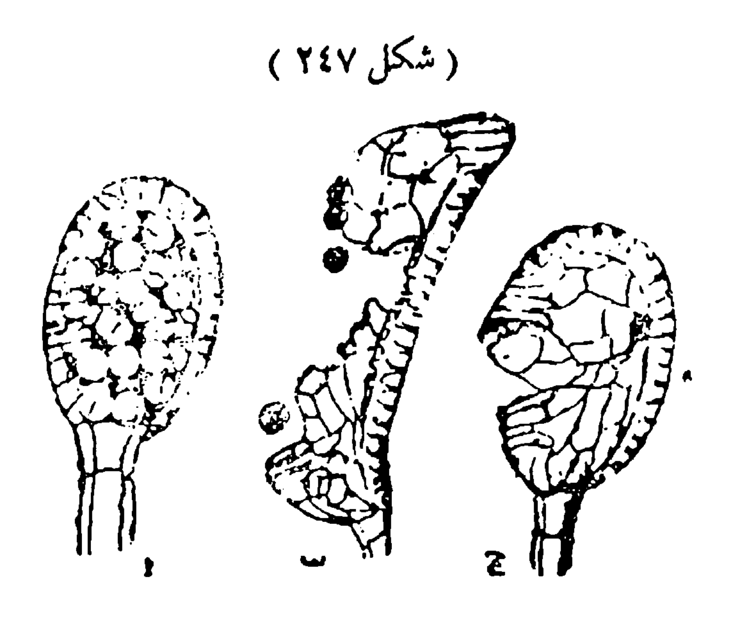
(شكل ٢٤٦)



النبات الجرثومى لسرخس « كزبرة البئر » ويرى : (أ) جزء من النبات الجرثومى مبينا الريزومة (ز) والجذور العرضية (ج . ع) والأوراق السرخسية فى مراحل مختلفة من النمو ، وتظهر الورقة الصغيرة (و . ص) التفافا خطافيا مميزا أما الورقة الكبيرة فريشية تتميز فيها الريشة والرويشة (ر ، و) ، وفى (ب) رويشة تنتظم عند حافتها البثرات الجرثومية حاملة بالغطاء البثرى الكاذب ، وفى (ج) حافة الرويشة مبينة الحوافظ الجرثومية (ح . م) والغطاء البثرى الكاذب (ا . ك) ، وفى (د) حافظة جرثومية مكبرة تتميز فيها خلايا الطوق (ن) والشق (ش) والجدار (خ . د)

الطوق فى الانحناء إلى الخلف حاملا معه غالبية الجراثيم (شكل ٢٤٧ : ب) ، وفى المرحلة الثانية يرتد الطوق بقوة إلى وضعه الأصلى (شكل ٢٤٧ : ج) قاذفاً بالجراثيم إلى مسافات بعيدة .

(شكل ٢٤٧)



المراحل المختلفة فى انفتاح الحافظة الجرثومية : (ا) تميز الخليتين الشفويتين فى منطقة الشق حيث يبدأ الانشقاق ، (ب) انحناء الطوق إلى الخلف ، (ج) ارتداد الطوق إلى وضعه الأصلى اثر نثر الجراثيم

وتبدأ المرحلة الأولى حين تأخذ الخلايا الطوقية فى فقدان مائها عن طريق جدرها المحيطية الخارجية الرقيقة ، ولا تستطيع تعويض ما فقدته من ماء مما يجاورها من خلايا بسبب شدة تغلظ جدرها المحيطية الداخلية والقطرية ، ومن ثم تأخذ المحتويات الداخلية للخلية الطوقية فى الانكماش بازدياد فقدان الماء ، وينثنى تبعاً لذلك الجدار المحيطى الخارجى إلى داخل الخلية جاذباً إليه الجدر القطرية . وينتج عن توالى انثناء الجدر المحيطية وتقارب الجدر القطرية تقلص الطوق فى الاتجاه المحيطى مما يؤدى إلى إحداث ضغط على خلايا الحلقة الحافية للحافظة الجرثومية . وتستطيع الخلايا الطوقية مقاومة هذا الضغط بسبب شدة تغلظ جدرها القطرية ، أما الخلايا الشقية فتعجز عن مقاومة هذا الضغط بسبب رقة جدرها القطرية ، ومن ثم يبدأ انشقاق الحافظة الجرثومية فى منطقة الشق ، الذى تتميز فيه خليتان ضيقتان ومستطيلتان قطرياً ، تعرفان بخلايا الشفة

(Lip cells) ، ويحدث انشقاق الحافظة الجرثومية بين الخليتين الشفويتين ويتم الانشقاق تدريجياً بتوالى فقدان الماء وانثناء الجدر ، ويستمر الطوق فى الانحناء إلى الخلف حاملا معه الجزء العلوى من الحافظة الجرثومية الذى يحتوى على غالبية الجراثيم ، وقد تبقى فى الجزء السفلى بضع جراثيم قليلة لا تنتثر عادة.

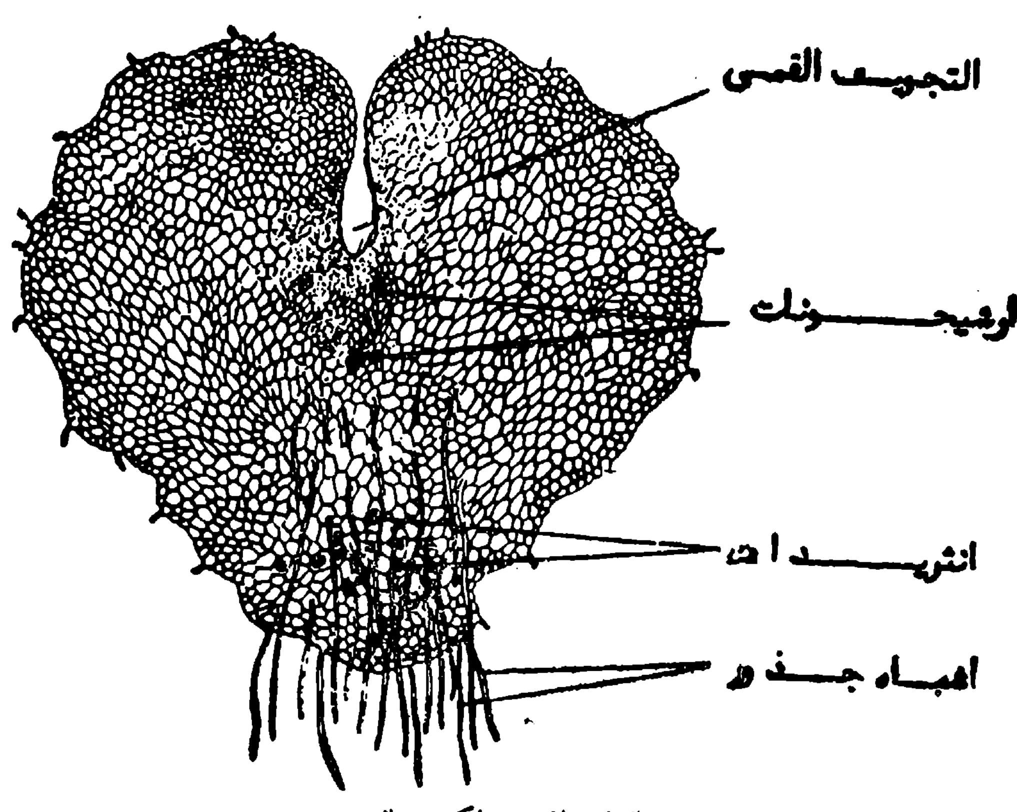
وبتوالى انحناء الجزء العلوى من الحافظة الجرثومية ، تصل كل خلية طوقية إلى حالة توتر بسبب التواء جدارها المحيطى الداخلى وقوة الجذب بين جدرها القطرية ، ويستمر انحناء الجزء العلوى للحافظة الجرثومية ما بقيت قوة تماسك جزيئات الماء داخل الخلية متفوقة على القوى المضادة العاملة على تمزقها . وهى قوى الجدر المحيطية الداخلية الساعية إلى التخلص من التوائها والجدر القطرية الساعية إلى التحرر من قوى الشد — التى تعمل على تقاربها — والرجوع إلى سابق أوضاعها ، فإذا ما تغلبت القوى الأخيرة على قوة تماسك جزيئات الماء داخل الخلية الطوقية حدث اختلال فى الخلية واستوى الجدار المحيطى الخارجى لها بعد انثناء ، وفقدت جزيئات الماء التى بداخلها قوة تماسكها .

ومتى بدأ الاختلال فى أى خلية طوقية امتد سريعاً إلى جميع الخلايا الطوقية لنفس الحافظة الجرثومية ، ورجعت جميع الجدر إلى سابق أوضاعها ويرجع الجزء العلوى للحافظة الجرثومية المنشقة فى قوة وعنف إلى موضعه الأصلى ، قاذفاً بالجراثيم التى بداخله إلى مسافات بعيدة . وتهدف الآلية التى يتم بها انفتاح الحافظة إلى نثر الجراثيم لمسافات بعيدة عن النباتات الأبوية المنتجة لها ، وكذلك لكى لا تتنافس النباتات البنوية ذاتها فيما بينها .

إنبات الجراثيم وإنتاج النبات المشيجى : يتميز جـــدار كل جرثومة إلى طبقتين ، طبقة خارجيـــة (Exine) — وهى صلبة بنية اللون — وطبقة داخلية (Intine) رقيقة عـــديمة اللون . فإذا ما استقرت الجرثومة فى تربة مـلائمة وتوافرت لها الظروف البيئية المواتية — من دفء ورطوبة وأكسجين — بدأت فى الإنبات فيخرج منها شبه جـــذر (Rhizoid) يتخـــذ طريقه إلى أعماق التربة ؛ وتستمر أنبوبة الإنبـات فى الاستطالة مكونة خيطاً من عدة

خلايا غنية بالبلاستيدات الخضر ويكون انقسام الخيط أولا مستعرضاً ، ثم يتبعه انقسام فى المستويين الآخرين المتعامدين مع المستوى المستعرض . وتتكون نتيجة لهذا الانقسام صفيحة مفلطحة صغيرة الحجم خضراء اللون ، لا تلبث بمتابعة الانقسام أن تتخذ شكلا قلبياً (شكل ٢٤٨) لتكوين الثالوس الأولى (Prothallus) أو الطــور المشيــجى . والطرف الأمامى للثالوس مستدير إلى حــد ما وبه تجويف أمامى (Sinus) تقع تحت قاعدته مباشرة خلية إنشائية ، أما طرفه الخلفى فمدبب . ويعيش هذا الثالوس معتمداً على نفسه فى التغذية ومستقلا عن النبات الجرثومى تمام الاستقلال ؛ ويتكون من خلايا مستديرة شبه بارنشيمية غنية بالبلاستيدات الخضر ، وتظل حافته مكونة من طبقة واحدة من الخلايا ، أما الجزء الوسطى منه فيتكون من عدة طبقات ويعرف بالوسادة (Cushion) ؛ وتخرج من السطح السفلى للوسادة أشباه جذور طويلة وحيدة الخلية بنية اللون ، تتعمق فى التربة لتساعد على امتصاص ما بها من ماء وأملاح .

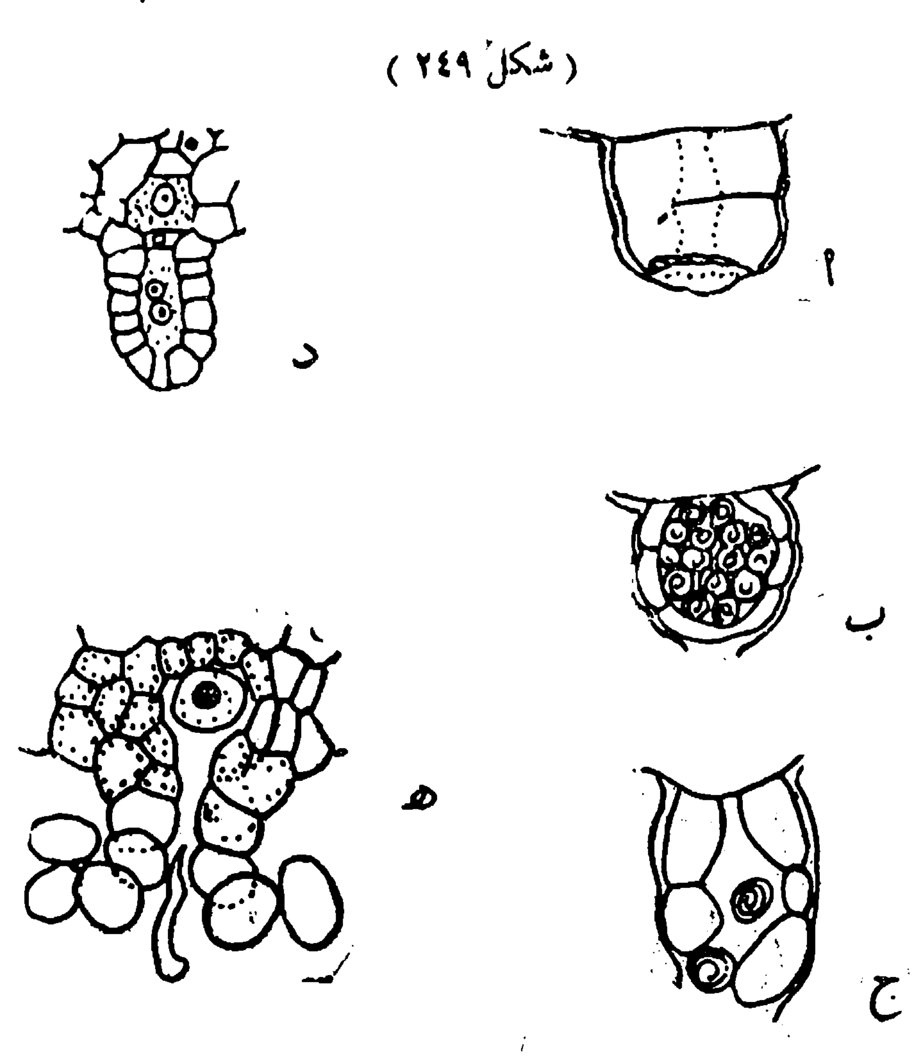
(شكل ٢٤٨)



النبات المشيجى لكزبرة البئر

وتستقر الأعضاء الجنسية – من أنثريدات وأرشيجونات (شكل ٢٤٩ : ب ، د) – على السطح السفلى للثالوس الأولى ، وتوجد الأرشيجونات على الوسادة قرب التجويف الأمامى للثالوس . وتتكون كل أرشيجونة من بطن مطمور فى نسيج الثالوس وعنق بارز يواجه سطح التربة ؛ أما الأنثريدات فتستقر قرب الطرف الخلفى مختلطة عادة بأشباه الجذور . ويحدث الإخصاب فى وجود الماء ، حيث تعطى كل خلية والدة فى الأنثريدة سابحة ذكرية

(شكل ٢٤٩)



الأعضاء الجنسية للنبات المشيجى لكزبرة البئر

ا – أنثريدة

ب – قطاع فى الأنثريدة يوضح السابحات الذكرية داخلها .

جـ – تحرر السابحات الذكرية من الأنثريدة .

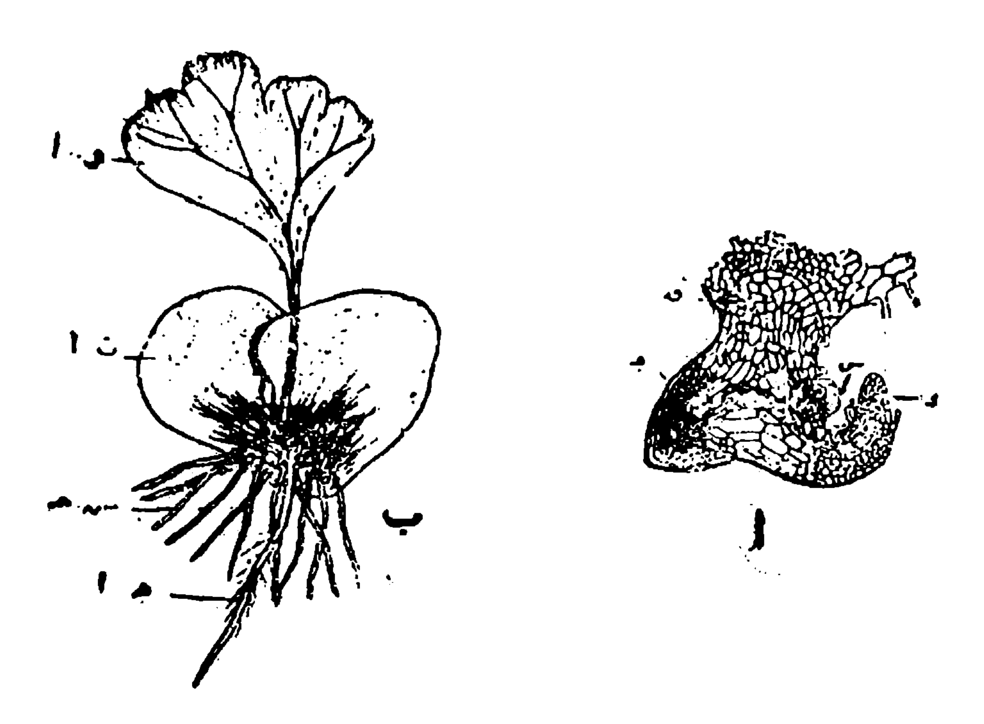
د – الأرشيجونة وبها البيضة والخلية القنوية البطنية .

هـ – الأرشيجونة الناضجة وقد انحلت الخلايا القنوية العنقية استعداداً لإتمام الاخصاب .

حلزونية الشكل عديدة الأهداب تعوم فى الماء حتى تصل إلى الأرشيجونة فتخترق عنقها البارز وتصل إلى البيضة وتندمج نواتا السابحة الذكرية والبيضة لتكوين اللاقحة .

انقسام اللاقحة وتكوين الجنين : تأخذ اللاقحة فى الانقسام وتتميز إلى قدم (Foot) وساق ابتدائية (Primary stem) وجذر ابتدائى (Primary root) وورقة أولى (First leaf) ، كما فى (شكل ٢٥٠ : أ) ، وتنمو الساق الابتدائية والورقة الأولى ويستمران فى التقدم حتى يصلا إلى التجويف الأمامى للثالوس فينثنيا فيه متجهين إلى أعلى ويأخذ لونهما فى الاخضرار . أما الجذر الابتدائى فيتعمق فى التربة لامتصاص الماء والأملاح . ولا يعيش النبات الجرثومى الصغير متطفلا على الثالوس الأولى — أو النبات المشيجى —

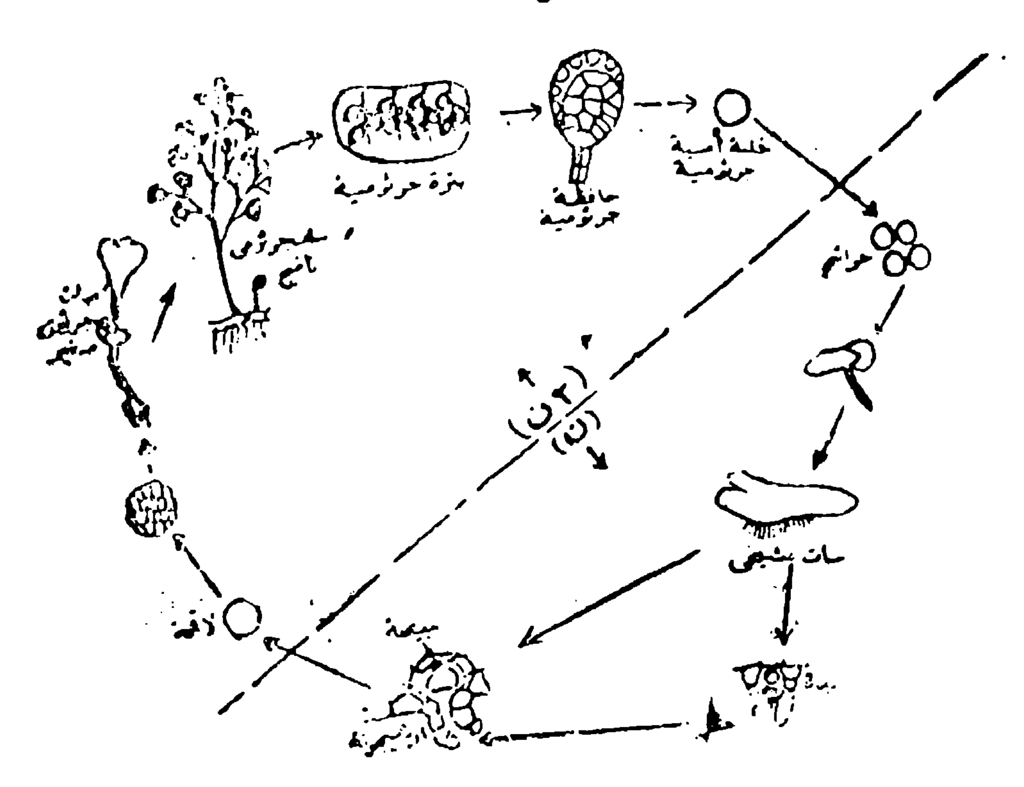
(شكل ٢٥٠)



تكوين الجنين والنبات الجرثومى الصغير فى سرخس كزبرة البئر ، ويرى فى (أ) قطاع طولى فى الجنين مبينا مناطق القدم (ق) والجذر الابتدائى (ج) والساق الابتدائية (س) والورقة الأولى (و) أما فى (ب) فيرى الثالوس الأولى (ث١) وقد انبثقت منه أشباه الجذور (ش ج) وأخذ فى الذبول ، وتميز الجنين الى نبات جرثومى صغير تظهر فيه الورقة الأولى (و) والجذر الابتدائى (ج١)

إلا الممترة وجيزة ريثما يتم انبساط الورقة الأولى واخضرارها وتكون الجذر الابتدائى (شكل ٢٥٠ : ب) ، ثم يأخذ الثالوس الأولى فى الذبول بالتدريج حتى يموت ، وتأخذ الساق الابتدائية للنبات الجرثومى الصغير فى الامتداد أفقياً وتتميز عليها أوراق سرخسية وجذور عرضية ، تحل بالتدريج محل الورقة الأولى والجذر الابتدائى اللذين يختفيان بالتدريج ، وهكذا يتم النبات دورة الحياة ، ويرى فى (شكل ٢٥١) ملخص لدورة حياة كزبرة البئر .

(شكل ٢٥١)



ملخص دورة حياة سرخس كزبرة البئر ، حيث تتكون جميع الخلايا الواقعة فوق الخط الفاصل ثنائية المجموعة الصبغية (٢ن) وأما تلك الواقعة تحته فتكون أحادية المجموعة الصبغية (ن)

الرصنيات

تحتوى الرصنيات على جنس واحد هو الرصن (Selaginella) . وهو أحد النباتات الوعائية اللابذرية متباينة الجراثيم (Heterosporous) التابعة لقسم النباتات الميكروفيلية ، وتعيش أغلبية أنواعه فى المناطق الاستوائية

وتحت الاستوائية ، بينما تعيش قلة منها فى المناطق المعتدلة ، ويتطلب نمو غالبية الأنواع وفرة الظل والرطوبة .

ويتكون النبات الجرثومى (شكل ٢٥٢) من ريزومة ممتدة تتفرع باستمرار تفرعاً ثنائى الشعب ، تنتظم عليها الأوراق فى أربعة صفوف ، صفين ظهريين من أوراق صغيرة وصفين بطنيين من أوراق كبيرة ، وتوجد عند كل عقدة ورقتان إحداهما صغيرة ظهرية والأخرى كبيرة بطنية . وتحمل كل ورقة على السطح العلوى لقاعدتها زائدة مثلثة الشكل تعرف باللسين (Ligule) ، ولا تخرج الجذور من الريزومة مباشرة ، بل أن هناك فروعاً خاصة خالية من الأوراق – تخرج عند مناطق تفرع الساق – وتعرف بالحوامل الجذرية (Rhizophores) ، وتنبثق الجــذور من أطراف هذه الحوامل الجذرية .

(شكل ٢٥٢)



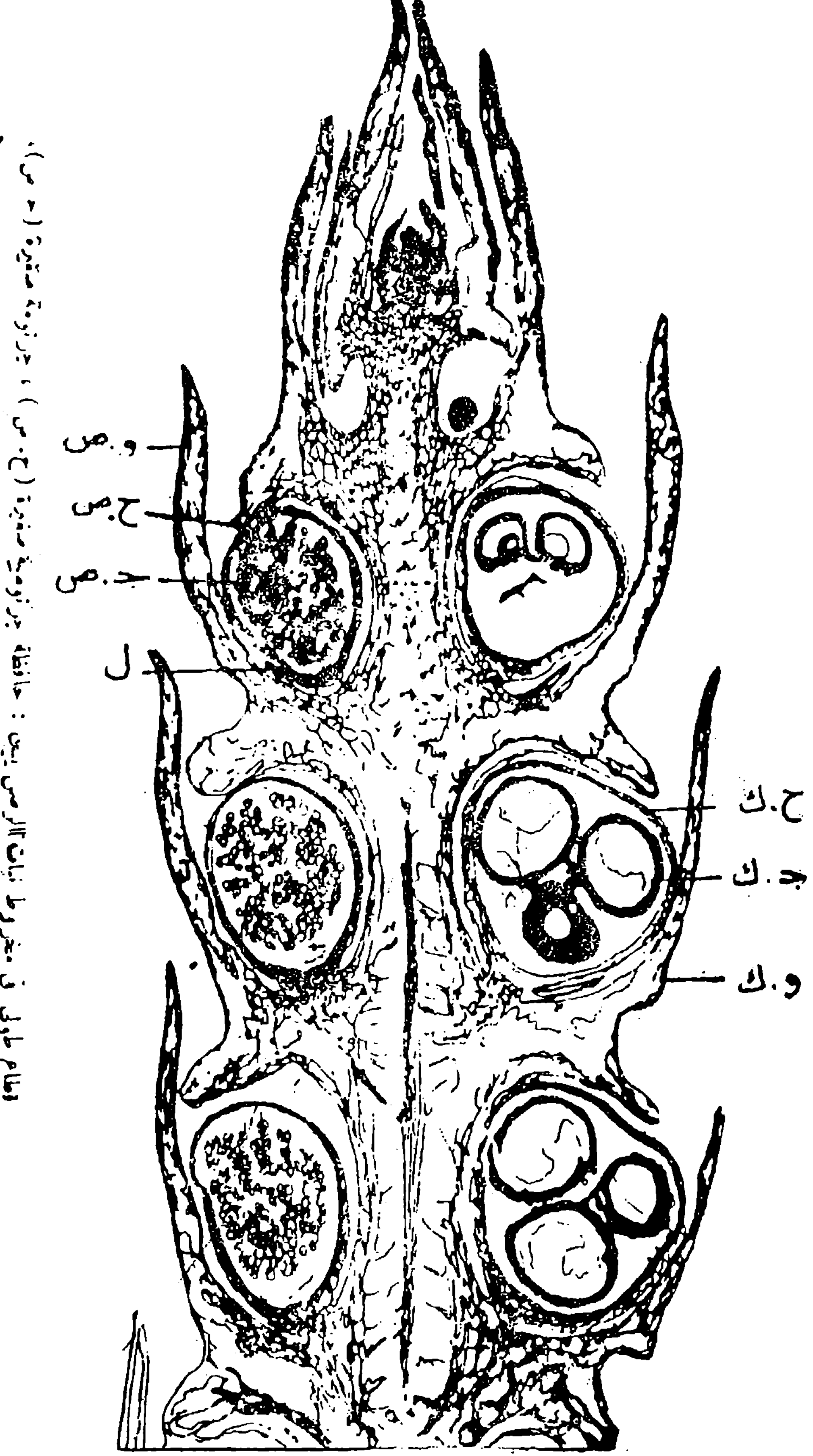
نبات الزمن يبين التفرع ثنائى الشعب للريزومة وانتظام الأوراق فى أربعة صفوف ، وانبثاق الحوامل الجذرية عند نقط التفرع حيث تتكون عند أطرافها الجــذور (عن هولت) .

وتتجمع الأوراق الجرثومية فى مخاريط طرفية متميزة (شكل ٢٥٣) ، وتختلف الأوراق الجرثومية عن الأوراق الخضرية من حيث صغر حجمها وتساويها وتشابه أشكالها . والأوراق الجرثومية ملسنة (Ligulated) ، وتتأبط كل ورقة جرثومية حافظة جرثومية ، وتتميز الحوافظ الجرثومية – حسب نوع الجراثيم التى تحتويها – إلى حوافظ جرثومية صغيرة (Micro-sporangia) ، تحتوى كل واحدة منها على عدد كبير من الجراثيم الصغيرة (Microspores) ، وحوافظ جرثومية كبيرة (Megesporangia or macro sporangia) . تحتوى كل حافظة منها على عدد محدود – غالباً أربعة – من الجراثيم الكبيرة (Mega — or macrospores) .

ويحمل نفس المخروط النوعين من الحوافظ الجرثومية (شكل ٢٥٣) ، فتوجد الحوافظ الجرثومية الصغيرة على أوراق جرثومية تعرف بالأوراق الجرثومية الصغيرة (Microsporophylls) ، أما الحوافظ الكبيرة فتوجد على أوراق جرثومية تعرف بالأوراق الجرثومية الكبيرة (Megasporophylls) ، وفى الحافظة الجرثومية الصغيرة تكون جميع الخلايا الوالدة الجرثومية فعالة ، بمعنى أن كل خلية والدة تنقسم إلى أربع جراثيم . فتمتلىء الحافظة بعدد كبير من الجراثيم الصغيرة . أما فى الحافظة الجرثومية الكبيرة فتأخذ خلية والدة واحدة فى مواصلة النمو والازدياد فى الحجم على حساب غيرها من الخلايا الوالدة الجرثومية ، التى تنحل بالتدريج وتستغل كمادة غذائية للخلية الوالدة الفعالة ، التى تنقسم إلى أربع جراثيم كبيرة (شكل ٢٥٣ : ج . ك) تكاد تملأ فراغ الحافظة . وفى بعض أنواع الرصن – كما فى سيلا جينللا روبستريس (Selaginella rupestris) – لا تواصل النمو والازدياد فى الحجم حتى النهاية إلا جرثومة كبيرة واحدة من الجراثيم الأربع المتبقية ، فلا تحتوى الحافظة الجرثومية الكبيرة فى هذه الحالة سوى جرثومة كبيرة واحدة .

ويبدأ انقسام الجرثومة الصغيرة لتكوين النبات المشيجى الذكرى وهى ما زالت حبيسة داخل الحافظة الجرثومية الصغيرة ، ثم يكمل نضجها ويتم

(شكل ٢٥٣)



قطاع طولى فى مخروط نبات الرص يبين : حافظة جرثومية صغيرة (ح.ص) ، جرثومة صغيرة (ج ص)، اسين (ل) ، ورقة جرثومية صغيرة (و . ص) ، حافظة جرثومية كبيرة (ح . ك) ، وورقة جرثومية

انقسامها فيا بعد عندما تنتثر وتستقر على التربة . وتنقسم كل جرثومة صغيرة داخلياً إلى خلية صغيرة عديمة الشكل — تعرف بالخلية الثالوسية الأولية أو الخضرية (Prothallial or vegetative cell) — وهى تمثل نباتاً مشيجاً ذكرياً على أكبر درجة من الضمور ، أما الخلية الكبيرة المتبقية فتكون الأنثريدة ، التى تحتوى على عدد كبير من الخلايا الموالدة للسابحات الذكرية تنتج كل واحدة منها سابحة ذكرية صغيرة مقوسة ثنائية الأهداب .

وتبدأ الجرثومة الكبيرة كذلك فى الإنبات وهى بداخل الحافظة الجرثومية الكبيرة — ولما يكتمل بعد نموها — فتنقسم نواتها إلى عدد كبير من الأنوية ، وتبدأ الجدر فى التكوين عند الطرف المدبب للجرثومة الكبيرة ، ولا يلبث جدار الجرثومة أن يتمزق عند هذا الطرف ، ويبرز منه نسيج النبات المشيجى الأنثوى بما يحمل من أرشيجونات وأشباه جذور (شكل ٢٥٤ : أ) أما بقية الفراغ الداخلى للجرثومة الكبيرة فيشغله نسيج تخزينى يستغل الغذاء المختزن بخلاياه فيا بعد لتغذية الجنين . وتتم المراحل الأولى لتكوين النبات المشيجى الأنثوى فى غالبية أنواع الرصن وما زالت الجرثومة الكبيرة حبيسة داخل الحافظة الجرثومية الكبيرة ، غير أن الأرشيجونات لا تظهر عادة إلا بعد تمام انتثار الجرثومة الكبيرة واكتمال نضج الثالوس الأنثوى فى التربة ، وتظهر فى الثالوس عدة أرشيجونات ، تعد كل واحدة منها تقدمية فى تركيبها حيث يختزل فيها عدد الخلايا القنوية العنقية إلى خلية واحدة .

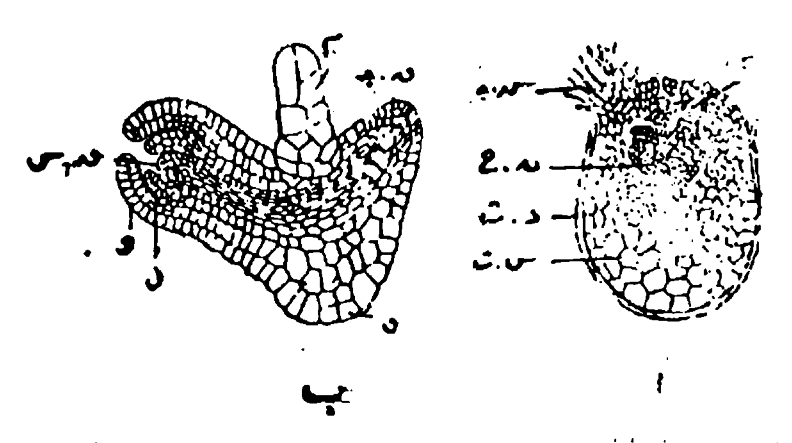
وفى غالبية أنواع الرصن تتم المراحل المتأخرة من تكوين الثالوس الأنثوى واكتمال نضج الأرشيجونات وإتمام عملية الإخصاب فى التربة عند وفرة الماء مثلها فى ذلك مثل غيرها من البتيريات ، وفى بعض الأنواع تظل الجرثومة الكبيرة حبيسة داخل الحافظة الجرثومية ، وفيها يكتمل تكوين الثالوس الأنثوى ونضج الأرشيجونات وتتم عملية الإخصاب على النبات الوالد . وقد تستمر الجرثومة الكبيرة حبيسة بعد تلك الخطوات حتى يبدأ الجنين فى الإنبات وفى مثل هذه الحالات تنتقل الجراثيم الصغيرة بعد انتثارها — بوساطة الجاذبية

أو الرياح — لتستقر على الأوراق الجرثومية الكبيرة التى تقع تحتها ، ثم تنتج السابحات الذكرية من الثالوس الذكرى الذى يقع بداخلها ، وتتخذ تلك السابحات طريقها فى وجود الماء حتى تصل الأرشيجونات وتتم عملية الإخصاب على النبات .

وتعد هذه الخطوات المميزة لبعض أنواع الرصن — من اختزال عدد الجراثيم الكبيرة فى كل حافظة إلى واحدة وانتقال الجراثيم الصغيرة لإتمام عملية الإخصاب على النبات — من الخطوات التمهيدية الهامة فى تطور البذرة من الحافظة الجرثومية الكبيرة .

ويتم الإخصاب عادة فى أرشيجونة واحدة — ونادراً فى أرشيجونتين — من الأرشيجونات الناضجة المعرضة فى الثالوس الأنثوى . وبعد الإخصاب تنقسم اللاقحة (شكل ٢٥٤) بجدار مستعرض إلى خليتين ، تكون الخلية الملاصقة لعنق الأرشيجونة المعلق (Suspensor) ؛ أما الخلية الأخرى فتكون الخلية الجنينية (Embryonic cell) ، ويأخذ المعلق فى الانقسام والاستطالة دافعاً بالخلية الجنينية إلى أسفل داخل الخلايا التخزينية — للحصول على احتياجاتها الغذائية — حيث يتم انقسامها وتشكل الأعضاء المختلفة للجنين

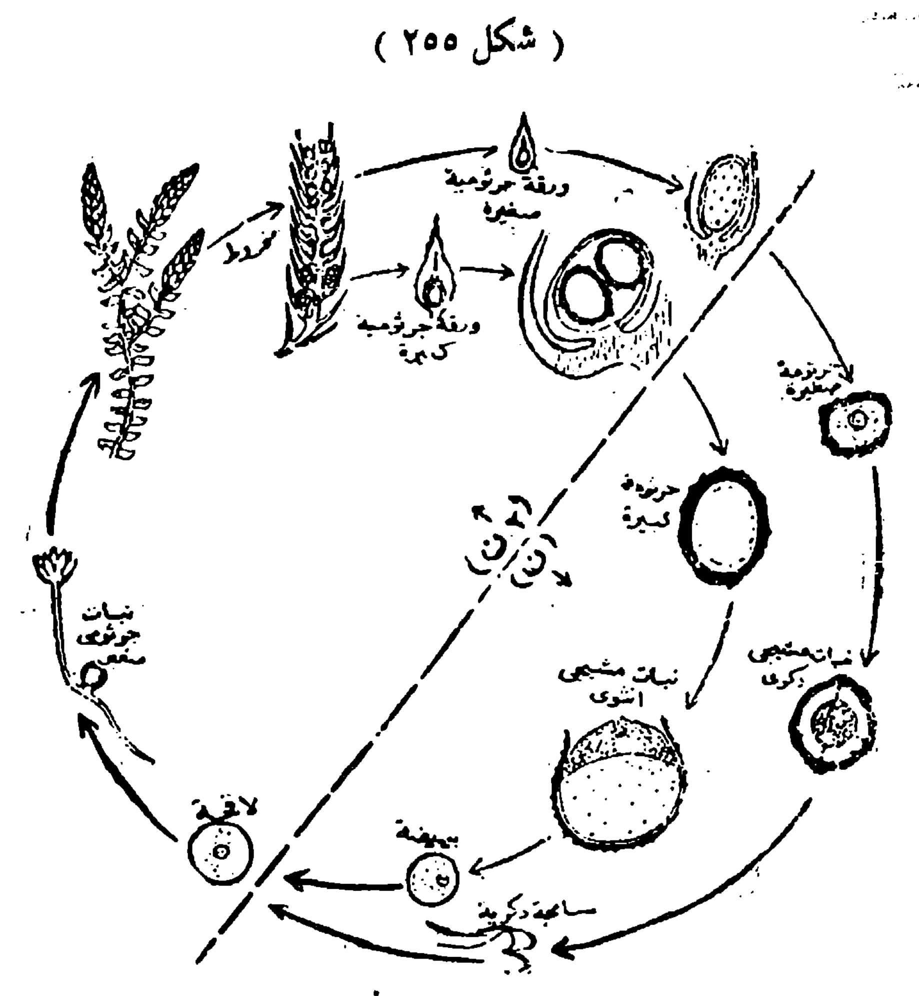
(شكل ٢٥٤)



(أ) قطاع طولى فى الجرثومة الكبيرة لنبات الرصن يبين أشباه الجذور (ش ج) وجدار الجرثومة (د ت) والنسيج التخزينى (س ت) والجنين مكون من معلق (م) وجنين حقيقى (ن ح) أما فى (ب) فيرى الجنين الداخلى مكبراً ومتصلا به المعلق (م) والمناطق المختلفة للجنين الحقيقى وهى : قمة الساق (ق س) والجذير (ك) والورقة الأولية (و) وقمة الجذر (ق ج) والقدم (ق)

من ساق وأوراق أولية وقدم وجذر ابتدائى . ويعتمد الجنين فى المراحل الأولى من تكوينه إعتماداً كلياً على المواد الغذائية المدخرة فى الخلايا التخزينية المحصورة داخل جدار الجرثومة الكبيرة ، حتى إذا ما نضب معين هذه المواد واستوى عود الجنين ظهرت البادرة واضحة خارج جدار الجرثومة الكبيرة ، إلا أن البادرة تظل لفترة ما على اتصال بالجرثومة الكبيرة بوساطة القدم حتى يكمل فيما بعد استقلالها . فتمتد الساق الأولية لتكوين الريزومة ، ويختفى الجذر الابتدائى وتحل محله الحوامل الجذرية المنتهية عند أطرافها بالجذور العرضية ، وهكذا يتم النبات دورة حياته ، ويرى فى (شكل ٢٥٥) ملخص لدورة حياة نبات الرصن .

(شكل ٢٥٥)



ملخص دورة حياة نبات الرصن ، وجميع الخلايا فوق الخط المرسوم – فيما عدا الجراثيم – ثنائية المجموعة الصبغية (٢ ن) ، أما خلايا النبات الواقعة تحت هذا الخط فأحادية المجموعة الصبغية (ن) . (عن روبنز ورسكت) .

ووجود نسيج تخزينى متميز داخل الجرثومة الكبيرة لإمداد الجنين بالغذاء - فى أولى مراحل تكوينه - تعد صفة تقدمية فى المملكة النباتية ، إذ تتميز بها البذريات أو النباتات البذرية (Spermatophyta) عما دونها من نباتات ، وهى صفة أخرى هامة تتميز بها الرصنيات على غيرها من الأرشيجونات متشابهة الجراثيم وتعد على جانب كبير من الأهمية عند مناقشة العلاقة التطورية بين النباتات الوعائية اللابذرية والبذريات .

(العلاقة بين النباتات الوعائية اللابذرية والنباتات البذرية)

يلى النباتات الوعائية اللابذرية فى سلم تطور المملكة النباتية النباتات البذرية أو البذريات ، وليس الانتقال من النباتات الوعائية اللا بذرية إلى البذرية انتقالا فجائياً ، بل إن هناك من المراحل التى تتمثل فى وجود النباتات متباينة الجراثيم ما تعزز هذه العلاقة التطورية . وتتمثل هذه العلاقة فيما يلى :

(١) ظاهرة تباين الجراثيم .

(٢) اختزال عدد الجراثيم الكبيرة إلى جرثومة واحدة فى بعض أنواع الرصن .

(٣) تظل الجرثومة الكبيرة - وتعرف بالكيس الجنينى (Embryo sac) فى البذريات - حبيسة داخل الحافظة الجرثومية الكبيرة إذ أن :

البويضة (أى البذرة غير الملقحة) = حافظة جرثومية كبيرة تحتوى على جرثومة كبيرة واحدة (كيس جنينى) + غلاف بويضى .

(٤) فى البذريات يتكون غلاف إضافى يحيط بالحافظة الجرثومية الكبيرة ، ويعرف بالغلاف البويضى (Integument) .

(٥) تكوين جهاز خاص لاستقبال الجراثيم الصغيرة ، التى تعرف فى النباتات البذرية بحبوب اللقاح (Pollen grains) :

(٦) تعطى حبة اللقاح أنبوبة تتخذ طريقها خلال أنسجة الحافظة الجرثومية الكبيرة ، حتى تصل إلى الجرثومة الكبيرة (أى الكيس الجنينى) لإيصال الأنوية الذكرية إلى الجهاز البيضى .

(٧) يظل جنين الطور الجرثومى البنوى متطفلا — فى أولى مراحل تكوينه — على الكيس الجنينى (أى الجرثومة الكبيرة) للطور الجرثومى الوالد .

وهكذا فجميع النباتات البذرية متباينة الجراثيم (الأبواغ) ، وتتولد الحوافظ الجرثومية الصغيرة والكبيرة على تراكيب خاصة من أصول ورقية ، شبيهة بالأوراق الجرثومية فى الأرشيجونيات الوعائية اللابذرية ، إلا أنها تأخذ فى التحور عنها إلى درجة كبيرة ، وقد جرت العادة فى النباتات البذرية (Spermatophyta) على تسمية الورقة الجـرثومية الصغـيرة بالسداة (Stamen) ، والحافظة الجرثومية الصغيرة بكيس اللقـاح (Pollen sac) أما الورقة الجرثومية الكبيرة فتعرف بالكربلة (Carpel) ، والحافظـة الجرثومية الكبيرة بما تحتوى بداخلها من جرثومة كبيرة واحدة فعالة (أى الكيس الجنينى) ، وبما يحيط بها من غـلاف بالبويضة (Ovule) ، وتمثل الأخيرة البذرة قبل إتمام عملية الإخصاب ، ولا تنتثر الجرثومة الكبيرة — أو الكيس الجنينى — خارج البويضة بل تظل حبيسة بداخلها حتى يتم الإخصاب ويتكون الجنين ، أما الثالوس الأنثوى الذى يوجد بداخل الكيس الجنينى فيعرف فى البذرة بإسم «الإندوسبرم» .

والبذريات — مثلها كمثل البتيريات — نباتات وعائية ، يمثل النبات الجرثومى فيها الطور المستقل والسائد فى دورة الحياة ، إلا أنه يصل فى النباتات البذرية إلى درجة كبيرة من التعقيد فى التشكل الخارجى إلى أعشاب وشجيرات وأشجار ، بينما يكون النبات المشيجى على درجة كبيرة من الضمور ، ويظل طول حياته متطفلا على النبات الجرثومى ومعتمداً عليه اعتماداً كلياً لاستيفاء احتياجاته الغذائية .

وتختلف النباتات البذرية فيما بينها من حيث مدى انبساط الكرابل — أو الأوراق الجرثومية الكبيرة — أو إلتفافها حول البويضات إلتفافاً كاملا لتغطيتها ، فني عاريات البذور (Gymnosperms) تظل الكرابل منبسطة بحيث تظل فتحة النقير في كل بويضة معرضة للخارج تعرضاً مباشراً ، أما في كاسيات البذور (Angiosperms) فتتحور الكربلة وتلتف حول البويضات إلتفافاً كاملا لتغطيتها ، وبذلك تصبح فتحة النقير غير معرضة للخارج ، وتتشكل الكربلة خارجياً لتهيئ للبويضات الحبيسة بداخلها وسائل الإخصاب ، وتتميز إلى مبيض (Ovary) وقلم (Style) وميسم (Stigma) ، ويستخدم العضو الأخير لاستقبال حبوب اللقاح اللازمة لإتمام عملية الإخصاب . وفي عاريات البذور يتميز بداخل الكيس الجنيني — أو الجرثومة الكبيرة — النبات المشيجي الأنثوى بما يحتوى من أرشيجونات ، فهي تنتسب بذلك إلى مرتبة الأرشيجونيات مثالها في ذلك مثل الحزازيات والبتيريات . أما في كاسيات البذور فتختفي الأرشيجونات من داخل الثالوس الأنثوى اختفاء كليا ، ويحل محلها جهاز بيضى (Egg apparatus) في حالة نووية حرة .

وتسمى الجراثيم الصغيرة في النباتات البذرية حبوب لقاح (Pollen grains) ، ويكون النبات المشيجي الذكرى على أكبر درجة من الضمور وموجوداً بكليته داخل حبة اللقاح . ولا ينتج النبات المشيجي الذكرى أنثريدات — كما هو الحال في البتيريات — بل يعطى مباشرة سابحتين ذكريتين أو ما يماثلها من أنوية ذكرية (Male nuclei) ، ولا توجد السابحات الذكرية المهدبة أو المتحركة إلا في قسمين من أقسام عاريات البذور الحية ، وهما قسما النباتات السيكادية (Cycadophyta) وقسم النباتات الجنجوية (Ginkgophyta) ، ويعد إنتاج السابحات الذكرية المتحركة صفة بتيرية تتميز بها عاريات البذور البدائية . أما فيما عداها من النباتات البذرية فتختفي السابحات الذكرية المتحركة اختفاء كليا وتحل محلها أنوية ذكرية ، وتصل هذه الأنوية — إلى الأرشيجونات في عاريات البذور وإلى الجهاز البيضى في كاسيات البذور — بوساطة أنابيب اللقاح . ويتكشف الجنين داخل البويضة المخصبة ، والتي تسمى حينئذ بالبذرة .

وتعد النباتات البذرية من أوسع أقسام المملكة النباتية انتشاراً أو أكثرها رقياً ، إذ تحتوى على أكثر من ١٩٦٠٠٠ نوع ، منتشرة فى جميع أرجاء العالم وموزعة فى بيئات مختلفة . وتحتوى النباتات البذرية على مجموعتين رئيسيتين هما :

١ — عاريات البذور (Gymnosperms) .

٢ — كاسيات البذور (Angiosperms) .

وجميع النباتات عاريات البذور الحالية نباتات خشبية ، أما كاسيات البذور فمنها الخشبية والعشبية ، وسنتحدث فى الأبواب التالية عن كل منها بالتفصيل .

الباب الرابع والعشرون

عاريات البذور

تتميز النباتات عاريات البذور (Gymnosperms) بأن بذورها توجد عارية على الكربلة ، ولا تحيط بها الأخيرة إحاطة كاملة كما هو الحال فى كاسيات البذور . وتحتوى عاريات البذور على حوالى ٧٠٠ نوع ، وهى موزعة بين عدة أقسام وطوائف ورتب ، منها الحفرى ومنها الحى ، ويعد قسم النباتات المخروطية (Coniferophyta) أكثر رتبها الحية انتشاراً ورقياً ، إذ تحتوى على ما يزيد على ٥٠٠ نوع موزعة بين أربعين جنساً ، توجد منتشرة فى المناطق المعتدلة الشمالية والجنوبية ، ويندر وجودها فى المناطق الاستوائية ، وغالبية المخروطات أشجار وقليل منها شجيرات ، وسندرس نبات الصنوبر (Pinus) كمثل لها .

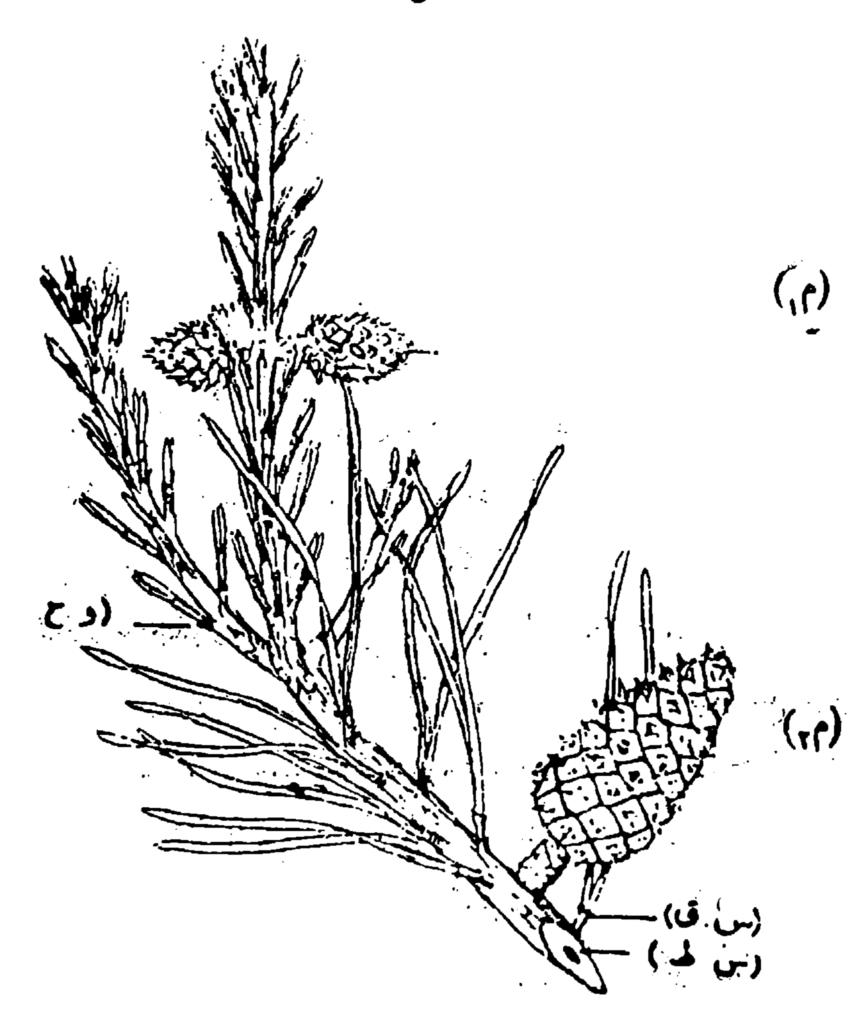
الصنوبر

يحتوى جنس الصنوبر على حوالى ٧٥ نوعاً ، يغلب وجودها فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، وهى أشجار خشبية دائمة الخضرة وعطرية . وتمثل الشجرة ذاتها النبات الجرثومى ، وتتكون من جذع رئيسى كبير مثبت فى التربة بمجموع جذرى كبير متفرع ، يمتد إلى أعلا حاملا فروعاً جانبية تنتظم عليه فى تعاقب قمى ، بمعنى أن أقصر الفروع وأحدثها عمراً تقع قرب القمة ، أما أكبرها سناً فتستقر عند القاعدة ، ومن ثم تتخذ الشجرة شكلا مخروطياً . وتنتظم على الفروع — فى ترتيب حلزونى — أوراق حرشفية ، تتأبط كل ورقة منها برعماً ، إما أن ينمـــو ليكون ساقاً طويلة (Long shoot) غير محدودة النمو تشبه الجذع الرئيسى للشجرة ، وإما أن يكون ساقاً قصيرة للغاية تعرف بالساق القزمية (Dwarf shoot) تحمـــل أوراقاً طويلة إبرية الشكل ، تعرف بالأوراق الخضرية (شكل ٢٥٦) ، يختلف عددها باختلاف

الأنواع ، ففى نوع الصنوبر وحيد الورقة (Pinus monophylla) تحمل كل ساق قزمية ورقة خضرية واحدة ، وفى غالبية الأنواع يتراوح عدد الأوراق الخضرية — على كل ساق قزمية — بين إثنتين وثلاث ، وقد يكون عددها أربعا فى نوع الصنوبر رباعى الورقات (Pinus quadrifolia) ؛ وقد يصل إلى خمسة فى بعض الأنواع .

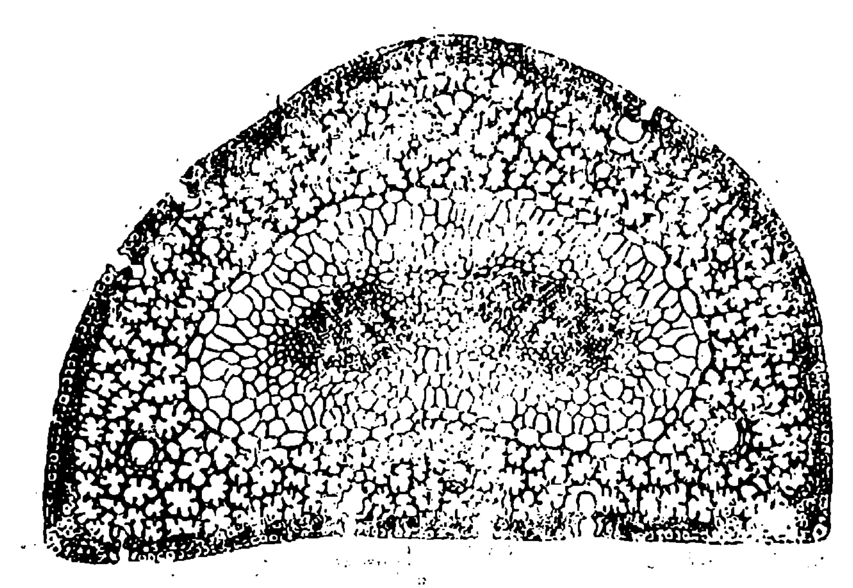
تشريح الورقة : (شكل ٢٥٧أ) : تتميز ورقة الصنوبر بأنها مهيأة لكى تتحمل الظروف البيئية القاسية ، فتوجد بشرة مكونة من طبقة واحدة من

(شكل ٢٥٦)



جزء من نبات الصنوبر يبين : (س ط) ساق طويلة تحمل مخاريط أنثوية ، وتمثل (م ١) المخروط الأنثوى للموسم الحالى و (م ٢) المخروط الأنثوى الناضج من الموسم الماضى ؛ (و ح) ورقة حرشفية ، (س ق) ساق قزمية (عن بولد) .

(شكل ٢٥٧)



قطاع مستعرض فى ورقة الصنوبر ، ويرى السطح السفلى للورقة فى أعلى الصورة والعلوى بأسفلها .

خلايا تتميز جدرها بشدة تأدمها . أما الثغور فلا توجد فى مستوى البشرة بل تستقر غائرة عن مستوى السطح الخارجى للورقة . وتقع تحت البشرة مباشرة طبقة أو أكثر من خلايا سكلرنشيمية تكون طبقة تحت بشرية (Hypodermal layer) ، تتميز جدر خلاياها أيضاً بشدة تغلظها . وخلايا البشرة وطبقة تحت البشرة غير تامة الاتصال بسبب وجود حجرات هوائية تتخللها وتصل ما بين الثغور الغائرة والخارج. أما النسيج الوسطى (Mesophyll) — الذى يعتبر النسيج التمثيلى للورقة — فلا تتميز خلاياه إلى عمادية وإسفنجية كما سبق الشرح فى النباتات الزهرية ، بل تكون متشابهة ، وهى خلايا مدمجة غنية بالنشا والبلاستيدات الخضر ، وتتميز بجدرها المطوية التى تمتد منها إلى الداخل زوائد سليلوزية ، وتنتشر بينها قنوات راتنجية (Resin ducts) ، وهى قنوات طويلة تتكون بين الخلايا وتبطنها خلايا مفرزة للراتنج . ويفصل الجزء المركزى من الورقة عن النسيج الوسطى بشرة داخلية (Endodermis) تتلوها طبقة محيطية (Pericycle) تحيط بالنسيج الذى يحتوى على الحزم الوعائية .

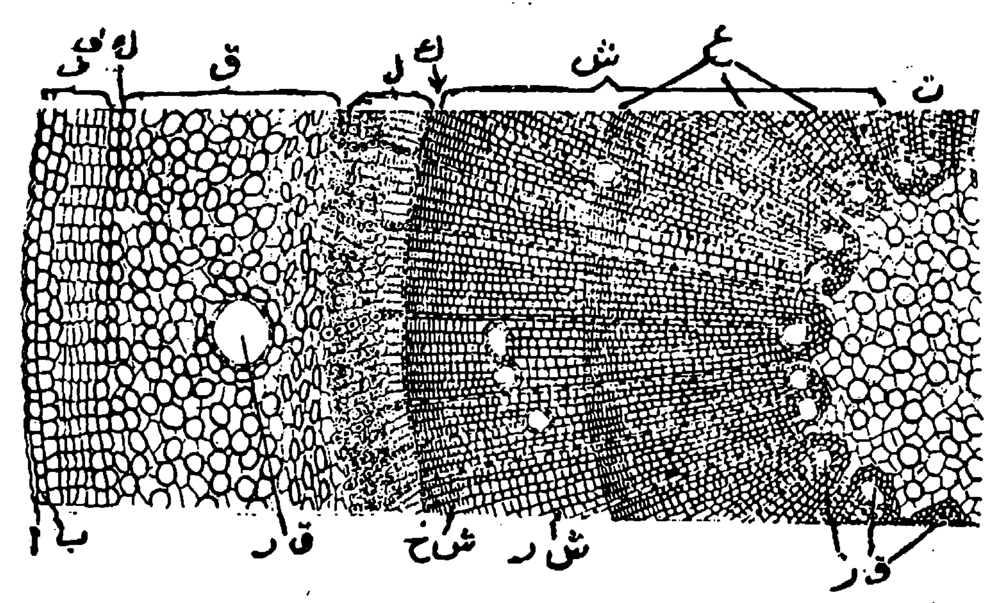
ويختلف عدد الحزم الوعائية باختلاف الأنواع ، ويتراوح بين واحدة

واثنتين . والحزمة الوعائية جانبة (Collateral) يتجه فيها اللحاء — الخالى من الخلايا المرافقة — نحو السطح السفلى المحدب ، بينما يتجه الخشب — الخالى من الأوعية — نحو السطح العلوى المستوى . وتوجد الحزم الوعائية مطمورة فى نسيج — تحده من الخارج الطبقة المحيطية — يعرف بنسيج الإصفاق (Transfusion tissue) ، ويتكون من خلايا بارنشيمية مختلطة بخلايا فارغة ميتة مضفوفة النقر تعرف بالخلايا القصيبية (Tracheidal cells) ، وتتميز خلايا نسيج الإصفاق المجاورة للحاء بوفرة البروتينات ، وتعرف بالخلايا الزلالية (Albuminous cells) .

ويشبه الصنوبر — من حيث المميزات التشريحية للورقة — النباتات الصحراوية مشابهة كبيرة ، وذلك فى شدة تأدم البشرة ووجود طبقة تحت بشرية وتعمق الثغور ، مما يساعد على الإقلال من النتح .

تشريح الساق (شكل ٢٥٨) : يشبه القطاع المستعرض فى ساق الصنوبر الحديثة مثيله فى نبات ذى فلقتين ، فتحيط بالساق بشرة متأدمة ، قد توجد

(شكل ٢٥٨)



قطاع مستعرض فى ساق الصنوبر يبين من الخارج إلى الداخل : الأدمة (أ) ، البشرة (ب) ، فلين (ف) ، كامبيوم فليني (ك . ف) ، قشرة (ق) ، قناة راتنجية (ق . ر) ، لحاء (ل) ، كامبيوم (ك) ، خشب ثانوى (ش) ، خشب خريفى (ش . خ) ، خشب ربيعى (ش . ر) ، أشعة نخاعية (ع) ، نخاع (ن) ، ويرى الخشب الابتدائى قرب النخاع (عن سميث) .

تحتها خلايا سكلرنشيمية مكونة طبقة تحت بشرية ، ثم قشرة من خلايا بارنشيمية بينها قنوات راتنجية ، تليها بشرة داخلية وطبقة محيطية تحيط بالأسطوانة الوعائية وتتكون الأخيرة من حلقة من حزم وعائية جانبية داخلية الخشب الأول (Collateral endarch) ، تفصل ما بينها أشعة نخاعية ويتوسطها نخاع ، والحزمة الوعائية مفتوحة ، بمعنى أنه يوجد كامبيوم حزمى بين الخشب واللحاء ، ولا توجد فى اللحاء خلايا مرافقة بل يتكون من أنابيب غربالية وبارنشيمية لحاء ، كما لا توجد فى الخشب أوعية على الإطلاق .

ومن ثم فيشارك الصنوبر النباتات البتيرية — من الوجبة التشريحية — فى غياب أوعية الخشب والخلايا المرافقة فى اللحاء ، كما يشابه النباتات ذوات الفلقتين فى طريقة ترتيب الحزم الوعائية وحدوث تغلظ ثانوى ، بماثل تماماً مايحدث فى سيقان النباتات الزهرية من ذوات الفلقتين ، حيث يتكون لحاء ثانوى وحلقات خشب سنوية . والخشب الثانوى — كالخشب الابتدائى — خال من الأوعية وتنتشر فيه القنوات الراتنجية ، كما لا توجد بين عناصر اللحاء الثانوى خلايا مرافقة ، ويتكون كامبيوم فلينى بمنتجاته من خلايا فلين وقشرة ثانوية وعديسات .

المخاريط (Cones or strobili) : يحمـــل النبات الأسدية والكرابل فى مخاريط منفصلة ، ومن ثم فيعد الصنوبر أحادى المسكن (Monoecious) ، أما المخاريط الذكرية (Male strobili) — وتعرف أيضاً بالمخاريط السدائية (Staminate strobili) — فتنتظم فى مجموعات حول قاعدة البراعم الطرفية لغالبية الفروع البالغة (شكل ٢٥٩) ، ويمكن التعرف عليها خلال فصل الشتاء السابق لفصل الربيع الذى يتم فيه بروزها ونضجها . وتغطى المخاريط الذكرية أثناء فصل الركود بحراشيف برعمية بنية اللون ، لا تلبث أن تأخذ فى التساقط فى باكورة فصل الربيع بسبب الازدياد فى أحجام المخاريط الذكرية .

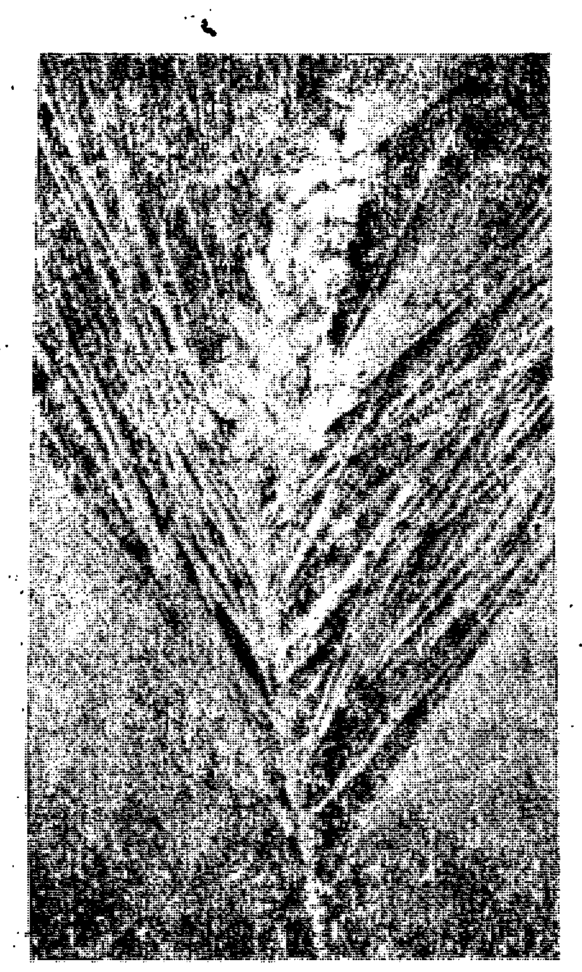
أما المخاريط الأنثوية (Female strobili) — وتعرف أيضاً بالمخاريط البويضية (Ovulate strobili) — فتنتظم على فروع جانبية قصيرة تتكون

على مقربة من أطراف بعض الفروع الأحدث سناً للموسم الحالى (شكل ٢٥٦). ومن ثم فلا يمكن رؤيتها بوضوح إلا بعد انبساط البراعم الطرفية لهذه الفروع واستطالتها ، وتكون عند بدء ظهورها خضراء اللون طرية ، حتى إذا ما تم تلقيحها أخذت فى التصلب وأصبح لونها بنياً .

المخروط الذكرى أو السدائى :

يتكون المخروط الذكرى من عدد من الأسدية (Stamens) — التى تعرف أيضاً بإسم الحراشيف السدائية (Staminate scales) — تنتظم على محوره فى ترتيب حلزونى شبيه بترتيب الأوراق الحرشفية (شكل ٢٦٠) .

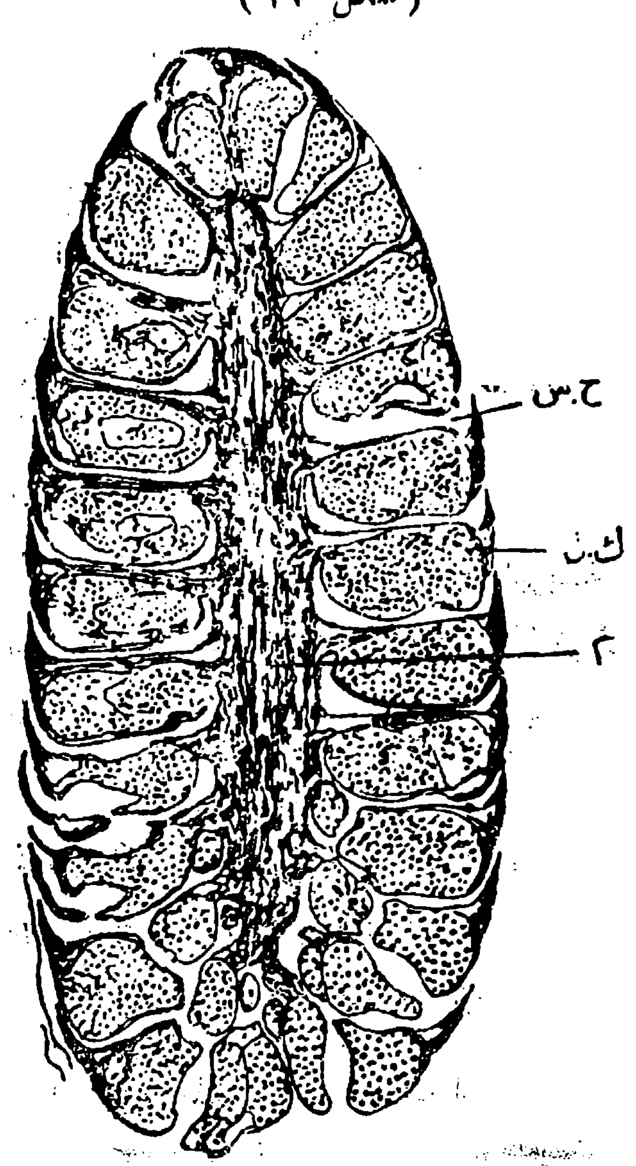
(شكل ٢٥٩)



جزء من نبات الصنوبر يبين المخاريط الذكرية والبرعم الخضرى فى القمة (عن بولد)

والسداة أو الحرشفة السداثية ضامرة ، تتكون من عنق ينتهى بطرف منتفخ ، وتحمل كل سداة على سطحها السفلى كيسى لقاح (Pollen sacs) يماثلان الحوافظ الجرثومية الصغيرة فى النباتات الوعائية اللابذرية متباينة الجراثيم ، أو ما تعرف فى النباتات البذرية بحبوب اللقاح (Pollen grains). وتتحرر حبوب اللقاح عن طريق شق طولى يظهر فى كيس اللقاح فى منطقة تتميز خلاياها برقة جدرها ، ولكل حبة لقاح جناحان يعملان على مساعدتها فى الانتشار بوساطة الرياح .

(شكل ٢٦٠)



قطاع طولى فى المخروط الذكرى للصنوبر يبين : محور المخروط (م) ، سداة أو حرشفة سداثية (ح . س) ، كيس لقاح (ك . ل)

ويبدأ انقسام حبة اللقاح وهي ما زالت حبيسة داخل كيس اللقاح ، فتتميز عنـد قاعدتها خليتان صغيرتان عدسيتا الشـكل تعرفان بالخليتين الخضريتين (Vegetative cells) تمثلان نباتاً مشيجياً ذكرياً ضامراً للغاية ، أما الخلية البـاقية الكبيرة فتسمى بالخلية الأنثريدية (Antheridial cell) ، وتنتثر حبة اللقاح وهي على هذه الدرجة من الانقسام (شكل ٢٦٢ : ب) .

المخروط الأنثوى أو البويضى : يتكون المخروط البويضى من عدد من الأوراق الجرثومية الكبيرة — أو الكرابل (Carpels) — تنتظم على محوره فى ترتيب حلزونى (شكل ٢٦١ : ا) ، وتتميز كل كربلة (شكل ٢٦١ : ب) إلى حرشفة كبيرة علوية تعرف بالحرشفة البويضية (Ovuliferous scale) وأخرى صغيرة تقـع بأسفلها وتعرف بالحرشفة القنابية (Bract scale) ، وتحمل كل حرشفة بويضية على سطحها العلوى بويضتين مقلوبتين (Inverted ovules) ، بمعنى أن فتحة النقير تتجه نحو محور المخروط .

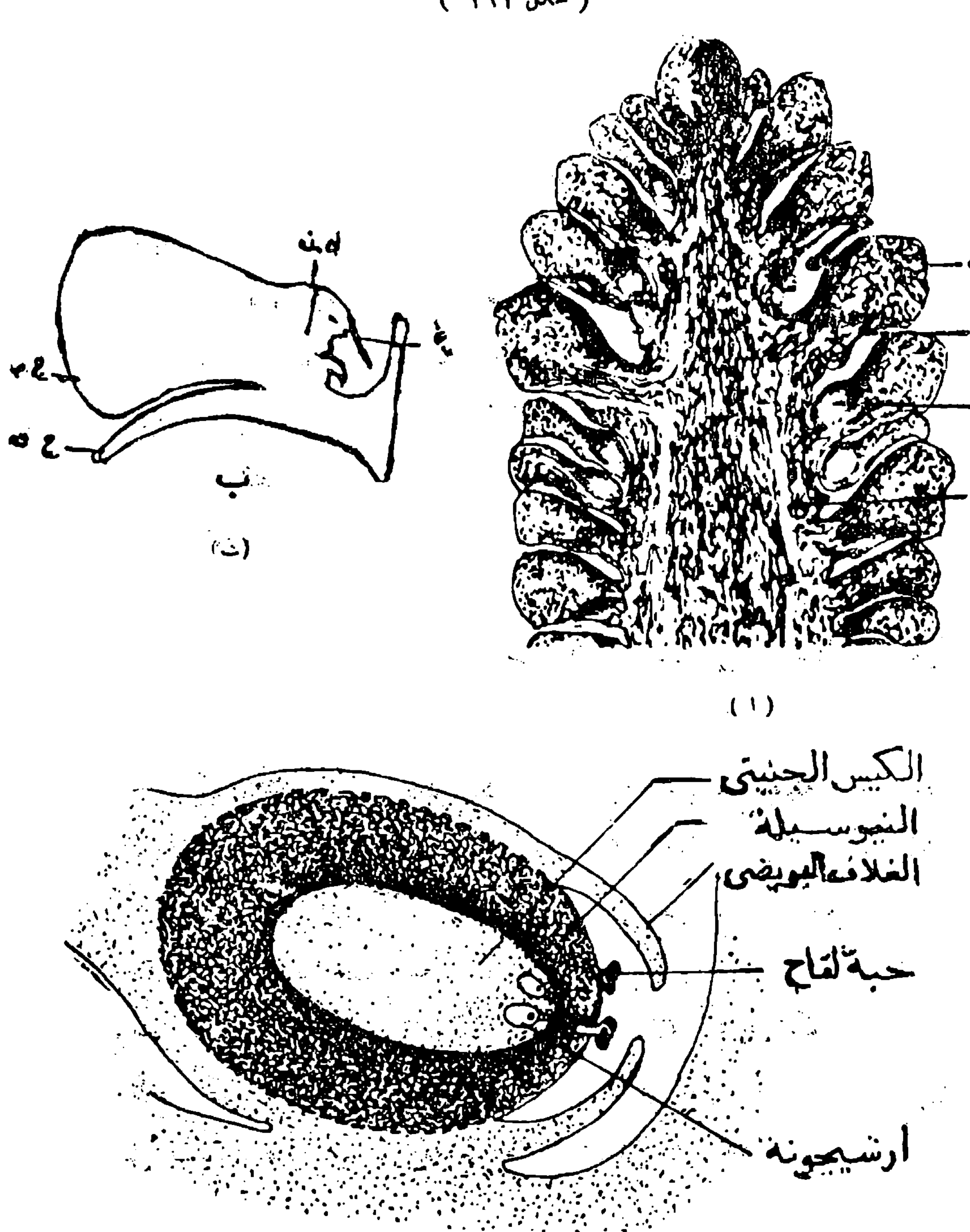
يبين قطاع طولى فى البويضة (شكل ٢٦١ : ج) التراكيب الآتية :

(١) كيس جنينى (Embryo sae) يتوسط البويضة وبداخله الثالوس الأولى الأنثوى (Female prothallus) ، تستقر الأرشيجونات عند طرفه المجاور لفتحة النقير ، ويتراوح عدد الأرشيجونات بين اثنتين وخمس حسب الأنواع .

(٢) تحيط بالكيس الجنينى النيوسيلة (Nucellus) والغلاف البويضى (Integument) ، ويلتحمان معاً على مدى امتداد البويضة فيما عـدا الطرف الأمامى منها ، حيث يكون الجزء المنفصل من النيوسيلة تركيباً مخروطياً مميزاً .

(٣) يمتد الجزء المنفصل من الغلاف البويضى ليكون أنبوبة النقير (Micropyle) ، ويعد النقير فى البيضة بمثابة جهاز إضافى — بالنسبة للحافظة الجرثومية الكبيرة البترية — لاستقبال حبوب اللقاح ، وهو جهاز مستمد من الغلاف الإضافى للبويضة .

(شكل ٢٦١)



(ج)

المخروط الأنثى لنبات الصنوبر ويرى : (١) قطاع طولى يبين المحور (م) والحرشفة الثانية (ح . ف) والحرشفة البويضية (ح . ب) والبويضة (ب) ويمثل الشكل (ب) جزء مكبر من المخروط يظهر فيه الكيس الجنينى (ك . ن) والغلاف (غ) والحرشفة البويضية (ح . ب) والحرشفة الثانية (ح . ف) . أما شكل (ج) فيبين قطاع طولى البويضة

(٤) يتميز الغلاف البويضي داخلياً إلى ثلاث طبقات : طبقة وسيطة متحجرة تحيط بها طبقتان لحميتان ، إحداهما من الداخل والأخرى من الخارج.

التلقيح والإخصاب : يقصد بالتلقيح (Pollination) انتقال حبوب اللقاح من أكياس اللقاح إلى البويضات ، ويتم ذلك بوساطة الرياح ، ويكون المخروط البويضى الصغير على أتم أهبة التلقيح فى باكورة تكوينه وبمجرد ظهوره من البرعم . وقبيل وقت التلقيح تأخذ الأجزاء الخارجية للحراشيف البويضية فى الابتعاد عن بعضها البعض بدرجة طفيفة لتهيئ فيما بينها شقوقاً تسمح لحبوب اللقاح — التى تحملها الرياح — أن تتخذ طريقها إلى داخل المخروط لتستقر عند فتحة النقير فى البويضة ، وتفرز هذه الفتحة سائلا هلامياً تلتصق به حبوب اللقاح ، حتى إذا ما أخذ السائل الهلامى فى الجفاف بالتدريج امتص معه حبوب اللقاح فتنفذ خلال فتحة النقير لتستقر عند طرف الجزء المنفصل من النيوسيلة . وبعد أن يتم التلقيح تأخذ الخلايا السطحية للحراشيف البويضية فى الانقسام فتعمل على سد الفرج التى بين الحراشيف وانغلاق المخروط .

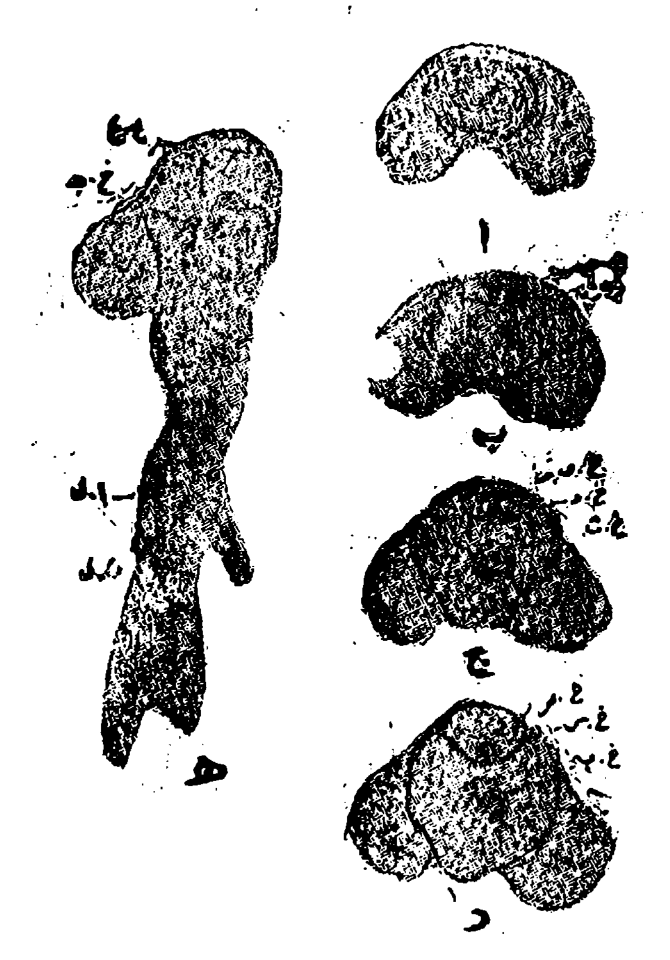
وتكون حبة اللقاح حينئذ مكونة من خلية أنثريدية وخليتين خضريتين (شكل ٢٦٢ : ج) ، تمثلان نباتاً مشيجياً ذكريا ضامراً ولا تلبثان أن تأخذا فى الانحلال . أما الخلية الأنثريدية فتنقسم بجدار محيطى — مواز للسطح الخارجى لحبة اللقاح — إلى خلية وسطية تعرف بالخلية التناسلية (Generative cell) وأخرى خارجية تعرف بالخلية الأنبوبية (Tube cell) — كما فى شكل (٢٦٢ : د) وتأخذ الخلية الأنبوبية فى الاستطالة والامتداد داخل النيوسيلة (شكل ٢٦١ : ج) على هيئة أنبوبة تعرف بأنبوبة اللقاح (Pollen tube) ، تنتقل إليها نواة الخلية الأنبوبية .

ويقف إنبات حبة اللقاح عند هذه المرحلة ، وتستمر فى حالة سكون لفترة طويلة قد تصل إلى حوالى عام ، وعند معاودة نشاطها تأخذ أنبوبة اللقاح فى التعمق داخل النيوسيلة ، وتنقسم الخلية التناسلية (شكل ٢٦٢ : هـ) بجدار مستعرض إلى خلية قاعدية تعرف بالخلية العنقية (Stalk cell) وأخرى

كبيرة نسبياً تعرف بالخلية الجسدية (Body cell) ، وتنقسم الخلية الأخيرة بدورها إلى خليتين ذكريتين (Male cells) ، يختلفان حجما .

وتتحرر الأنوية من داخل خلاياها ، وتنتقل أنوية الخلايا الأنبوبية والعنقية والذكرية بالتتابع إلى طرف أنبوبة اللقاح ، وتواصل أنبوبة اللقاح نموها داخل النيوسيلة حتى تصل إلى عنق الأرشيجونة فتحطمها ويتمزق طرف أنبوبة

(شكل ٢٦٢)

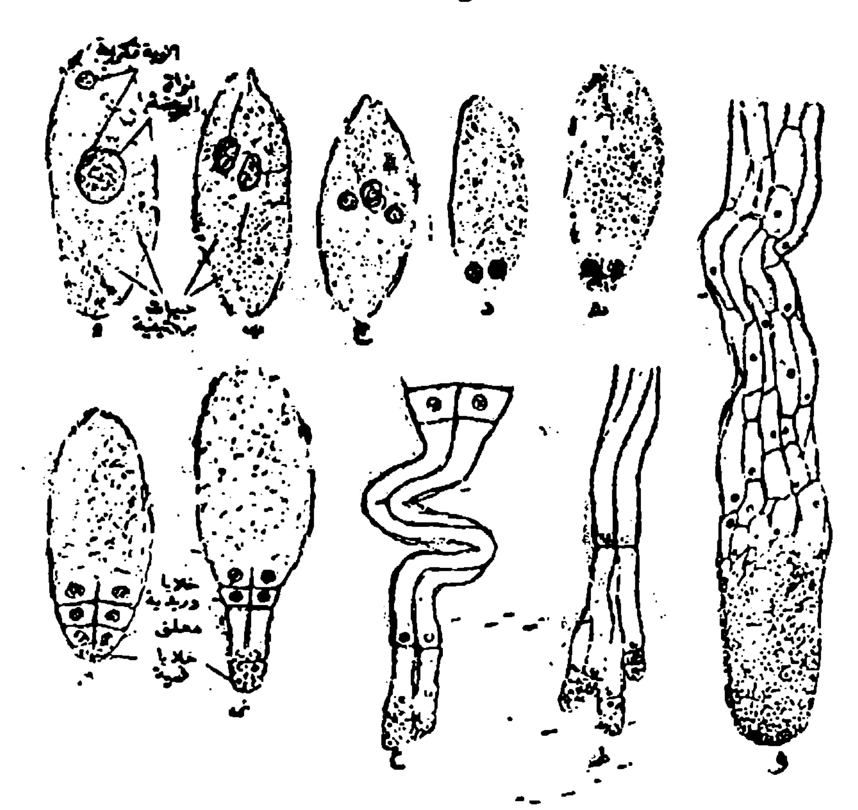


انقسام حبة اللقاح في الصنوبر وطريقة انباتها : (أ) حبة اللقاح ويرى على كل جانب منها كيس هوائي (ك . هـ) ، (ب) انقسام الحبة إلى خلية خضرية (خ . ر) وخلية أنثريدية (خ . ث) ، (ج) ظهور خلية أخرى خضرية (د) انقسام الخلية الانثريدية إلى خلية تناسلية (خ . س) وأخرى أنبوبية (خ . ب) ، (هـ) انقسام الخلية التناسلية إلى خلية عنقية (خ . ع) وأخرى جسدية (خ . ج) واستطالة الخلية الأنبوبية إلى أنبوبة لقاح (أ . ل) تستقر نواتها (ن . ل) عند الطرف .

اللقاح لتفرغ كافة محتوياتها فى الأرشيجونة . وتنحل الأنوية الأنبوبية والعنقية وإحدى النواتين الذكريتين ، أما النواة الذكرية المتبقية فتتحد مع نواة البيضة لتكوين نواة اللاقحة ثنائية المجموعة الصبغية .

تكوين الجنين والبذرة : تنقسم نواة اللاقحة إلى ست عشرة نواة ، تنتظم فى أربع طبقات ، كل طبقة مكونة من أربع خلايا (شكل ٢٦٣) ؛ وتنشأ الأجنة (Embryocs) من الخلايا الأربع للطبقة الطرفية ، أما خلايا الطبقة تحت الطرفية فتكون المعلقات (Suspensors) ، وتعرف الطبقة الثالثة بالطبقة

(شكل ٢٦٣)



الإخصاب وتكوين الجنين فى الصنوبر : (أ) اندماج احدى النواتين الذكريتين مع نواة البيضة ، (ب) نواتان ناتجتان عن انقسام نواة اللاقحة ، (ج) تكوين أربع أنوية نتيجة انقسام النواتين المشار إليهما فى ب ، (د) انتقال الأربعة أنوية (لا يرى فى الشكل إلا اثنتان منها) إلى قاعدة البويضة ، (هـ) انقسام الأربع أنوية إلى ثمان ، تنتظم فى طابقين ، كل طابق يشمل أربع خلايا ، لا يرى إلا اثنتان منها ، (ز ــ ح) استطالة خلايا المعلق وانقسام الخلايا القمية ، (ط) مرحلة متقدمة فى تكوين الأربعة أجنة ، (ك) جنين واحد يواصل النمو . أما الثلاثة الأخرى فيكون مآلها الاضمحلال (عن جمبرت)

الوريدية (Rosette tier) ، أما خلايا الطبقة الرابعة فتكون الخـلايا الماصة (Haustorial cells) . وتأخذ المعلقات فى الاستطالة دافعة بالأجنة إلى أسفل داخل أنسجة الثالوس الأولى الأنثوى ، وتنفصل الخلايا المكونة للأجنة وقد تكون أربعة أجنة، وتعرف مثل هذه الحالة بالتضاعف الجنينى (Polyembryony) ولكن لايصل منها عادة إلى مرتبة النضج سوى جنين واحد ، ولايلبث الجنين المتكون أن يتميز إلى ريشة وجذير (شكل ٢٦٥ : على اليسار) ويتراوح عدد الفلقات بين ثلاث وسبع عشرة حسب الأنواع ، أما الجزء المتبقى من الثالوس الأولى الأنثوى فيظل محيطا بالجنين لتكوين الإندوسبيرم . ويتصلب الغلاف البويضى ليكون غلاف البذرة أو القصرة (Testa) ، ويلتصق بالبذرة غشاء رقيق — مستمد من السطح العلوى للحرشفة البويضية — ليكون جناحا يساعد على انتشارها بوساطة الرياح (شكل ٢٦٤ : ب ، ج) .

(شكل ٢٦٤)

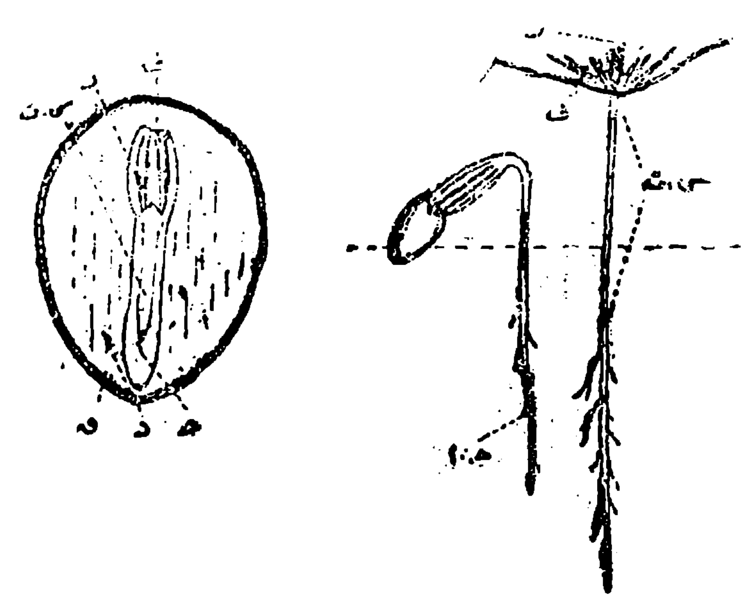


— المخروط الأنثوى لنبات الصنوبر : (ا) بعد إتمام الإخصاب وتكوين البذور ، (ب) بذرتان محمولتان على الحرشفة البويضية ويلتصق بكل منها غشاء رقيق أو جناح ، (ج) الانفصال التام لكل بذرة مع الجناح

وبعد تكوين البذور يأخذ المخروط البويضى فى التضخم وتزداد الحراشيف البويضية حجما وتصبح صلبة خشبية (شكل ٢٦٤ : ا) ، أما الحراشيف القنابية فيكون من الصعب تمييزها . وعندما تتهيأ للبذرة الظروف المناسبة للإنبات (شكل ٢٦٥ على اليمين) ينبثق الجذير من القصرة ويتعمق فى

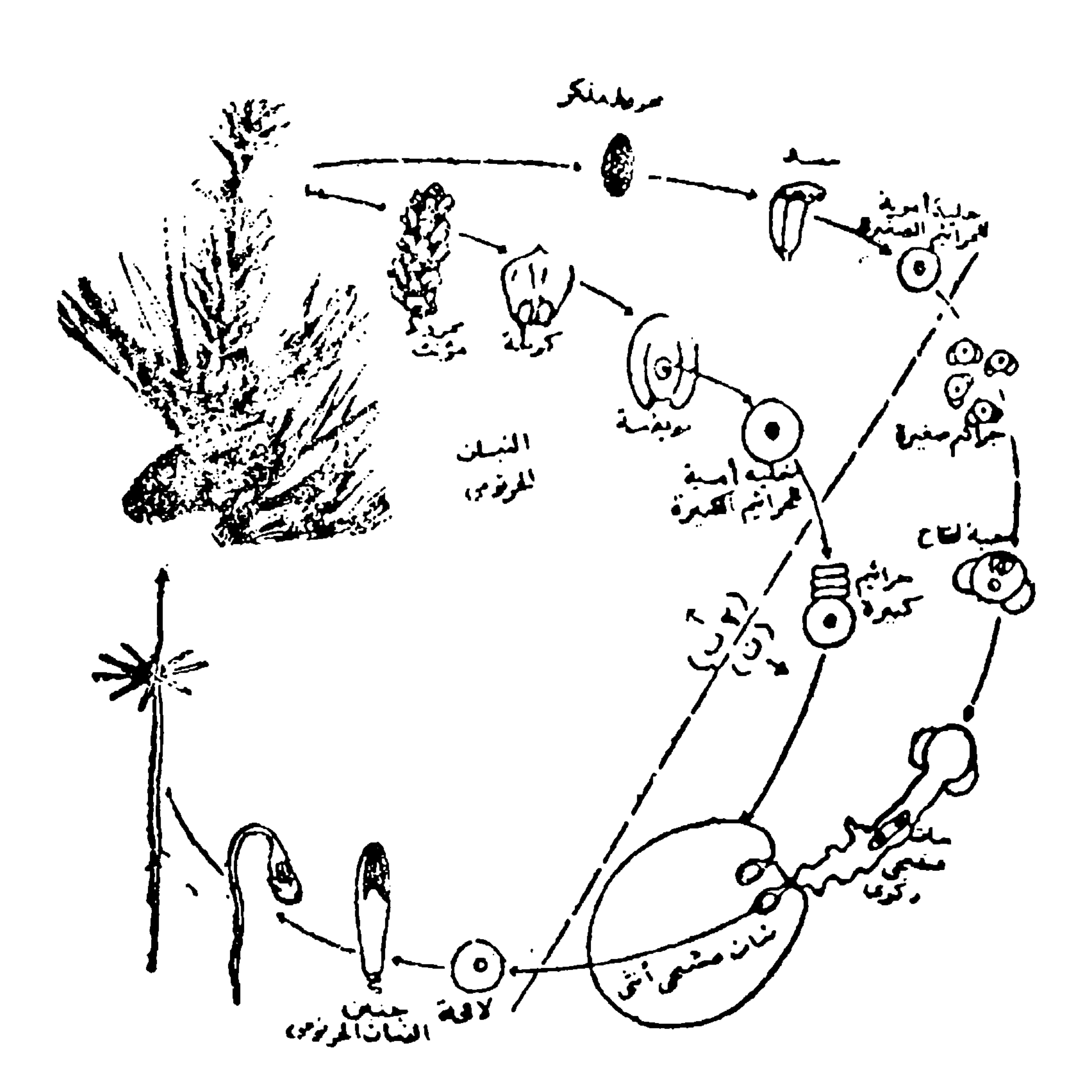
التربة ليعطى المجموع الجذرى ، وتأخذ السويقة تحت الفلقية (Hypocotyl) فى الاستطالة حاملة معها الفلقات والريشة فوق سطح الأرض ، وتتخذ الفلقات لوناً أخضر ، وعلى ذلك فالإنبات هوائى . ويبين (شكل ٢٦٦) ملخص دورة حياة نبات الصنوبر .

(شكل ٢٦٥)



التركيب الداخلى لبذرة الصنوبر وطريقة إنبات البادرة ، ويرى إلى اليسار قطاع طولى فى البذرة ، وإلى اليمين مرحلتان متتابعتان من مراحل الإنبات المتوالى للبادرة : (ف) فلقة ، (ر) ريشة ، (س.ت) سويقة تحت فلقية ، (ج) جذير ، (د) إندوسبرم ، (ق) قصرة ، (ج ١) جذر ابتدائى .

(شكل ٢٦٦)



ملخص دورة حياة نبات الصنوبر

الباب الخامس والعشرون

كاسيات البذور

تنفرد النباتات كاسيات البذور (Angiosperms) ببعض الخصائص التى تميزها عن النباتات عاريات البذور ، وتشمل هذه الخصائص الشكل الخارجى والصفات التشريحية ، ومن أهمها وجود الأوعية الخشبية والخلايا المرافقة فى النباتات كاسيات البذور وحدها دون نباتات الأقسام الأخرى ، وقد تناولنا هذه الصفات بالشرح فى الأبواب السابقة .

ومن الصفات التى يتضح فيها الفرق بين كاسيات البذور وعاريات البذور هى طريقة انتظام البويضة (Ovule) ، ففى الأولى تحاط البويضة بورقة جرثومية كبيرة (Megasporophyll) إحاطة شاملة ، وتكون بمعزل عن الخارج ، ويطلق على هذا التركيب اسم كربلة (Carpel) . وعلى هذا لا تستقر حبوب اللقاح على البويضة نفسها كما هو الحال فى عاريات البذور ولكن على جزء مستقبل من الكربلة يعرف بالميسم (Stigma) ، ولذلك تشق أنبوبة اللقاح عند نموها طريقاً أطول فى حالة النباتات كاسيات البذور . وفى معظم هذه النباتات تحاط الكرابل بأعضاء التذكير — التى يطلق عليها اسم الأسدية (Stamens) — ثم يحيط بها من الخارج عدد من الأوراق المغلفة ، ويعرف هذا التركيب بالزهرة .

الزهرة :

تعتبر الزهرة فرعاً قصيراً متحوراً ، يحمل أوراقاً تحورت لغرض التكاثر متزاحمة لا تفصلها سلاميات واضحة ، وتنشأ الزهرة عادة فى إبط ورقة تسمى قنابة (Bract) ، وتتباين القنابات من حيث الشكل واللون ، فأحياناً تشبه الأوراق العادية . وغالباً ما تكون حرشفية ، وفى بعض النباتات تكون ملونة كما فى الجهنمية (Bougainvillea) . وتحمل الزهرة على عنق فى بعض

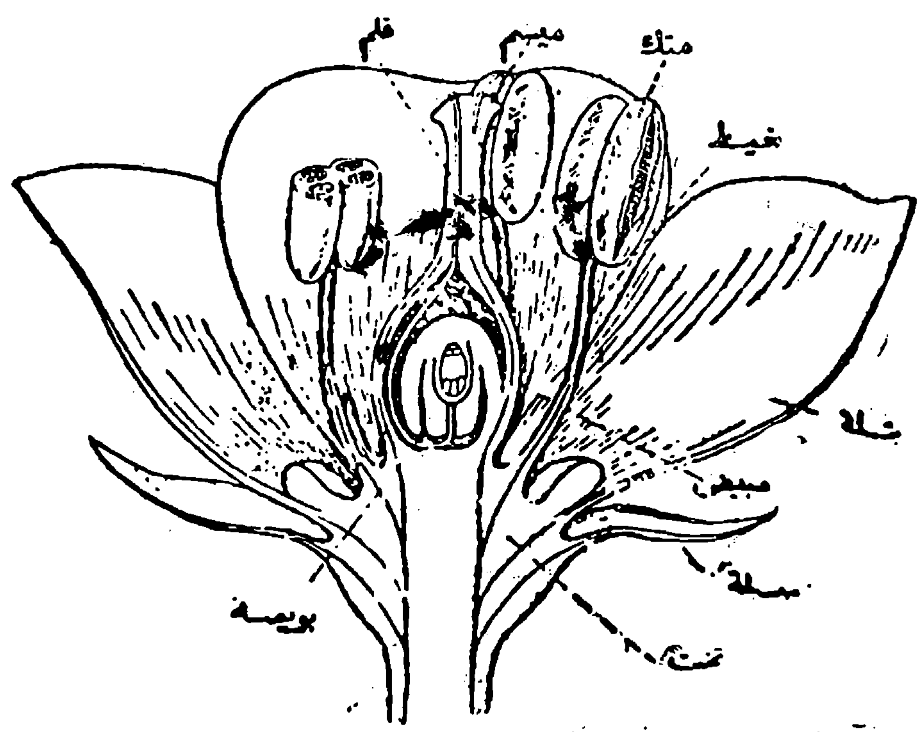
النباتات ، وفى البعض الآخر تكون جالسة (Sessile) ، وقد توجد على عنق الزهرة أحيـــاناً أوراق تعرف بالقنيبات (Bracteoles) ، وعددها إثنتان جانبيتان .

ويطلق على جانب الزهرة المواجه لمحور النورة اسم الجانب الخلفى (Posterior side) ، بينما يعرف الجانب المقابل له باسم الجانب الأمامى (Anterior side) ، وهو الجانب المواجه للقنابة . وتتركب الزهرة عادة من جـــزء منضخم يعرف بالتخت (Thalamus or receptacle) ، يقع عند نهاية العنق إذا وجد ، ويحمل الأوراق الزهرية التى تنتظم فى محيطات متتابعة (شكل ٢٦٧) ، وهذه المحيطات هى الكأس والتويج والطلع والمتاع .

الكأس (Calyx) : تمثل الكأس المحيط الخارجى للزهرة ، وتتركب من أوراق صغيرة خضراء ، تعرف بالسبلات (Sepals) ، وظيفتها حماية الأجزاء الزهرية الأخرى فى البرعم الزهرى ، وقد تكون السبلات منفصلة أو ملتحمة وقد تسقط مبكرة عند تفتح الزهرة وتعرف بالكأس المتساقطة (Caducous) كما فى زهرة الخشخاش (Papaver sp) ، أو تظل باقية بعد تكوين الثمرة وتعرف بالكأس المستديمة (Persistent calyx) كما فى الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) . وقد تكون الكأس أنبوبية ، أو على هيئة مهماز (Spur) يتجمع فيه الرحيق كما فى زهرة العايق (Delphininm) ، وفى بعض الأزهار تكون الكأس ذات شفتين كما فى زهرة السلفيا (Salvia) ، وقد تكون على هيئة زغب (Pappus) كما فى نبات عباد الشمس ، وفى بعض الأحيان تكون السبلات دقيقة جداً أو منعدمة كما فى نباتات الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) ، وهناك نباتات يوجد بها محيط آخر خارج الكأس يتركب من أوراق تشبه السبلات ويطلق عليه اسم « فوق الكأس » (Epicalyx) .

التويج (Corolla) : ويتركب من عدد من الأوراق الملونة تعرف بالبتلات (Petals) ، تعمل غالباً على اجتذاب الحشرات التى تقوم بعملية التلقيح . وقد تكون البتلات منفصلة أو ملتحمة ، وتأخذ عدة أشكال عند اتحادها ،

(شكل ٢٦٧)



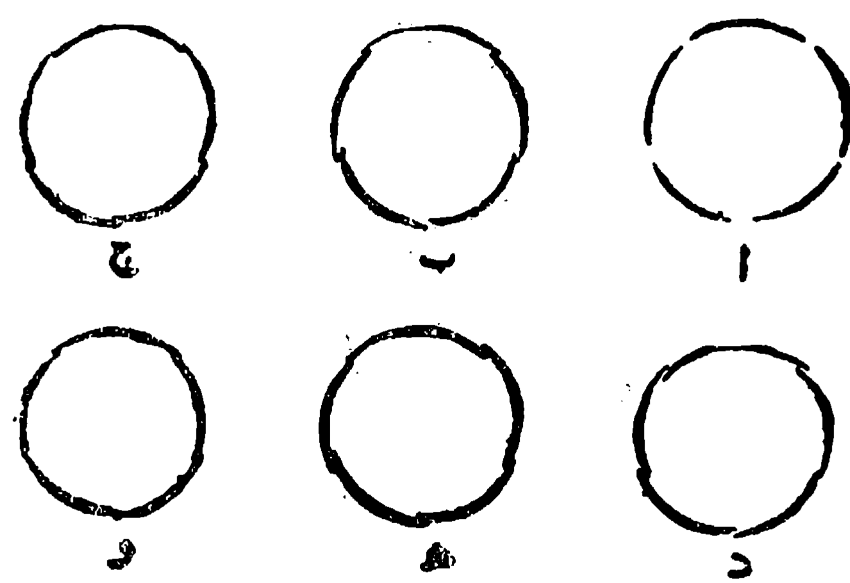
رسم تخطيطي لقطاع طولي في زهرة نموذجية يوضح مختلف أجزائها .

منها الأنبوبى كما فى الأزهار التى تتوسط نورة عباد الشمس ، والشعاعى كما فى الأزهار المحيطية فى نفس النورة ، والقمعى كما فى زهرة البيتونيا (Petunia) ، والمستدير المفلطح كما فى زهرة الطماطم (Solanum Lycopersicum) ، وفى بعض الأزهار تكون للتويج شفتان كما فى زهرة السلفيا . وفى أزهار الفصيلة الصليبية (Cruciferae) تتخذ البتلات المنفصلة فى ترتيبها شكل صليب .

وتمثل السبلات والبتلات الأعضاء غير الأساسية للزهرة ، وفى بعض النباتات — وخاصة ذوات الفلقة الواحدة — يتشابه الكأس والتويج تشابهاً كبيراً ، وفى هذه الحالة يطلق عليهما معاً اسم الغلاف الزهرى (Perianth) .

التربيع الزهرى : يعرف وضع حواف السبلات أو البتلات بالنسبة لبعضها البعض فى البرعم باسم التربيع الزهرى (Aestivation) ، فإذا ما انتظمت حواف الأوراق الزهرية بجوار بعضها البعض دون تراكب أو إنثناء فإن هذا الترتيب يوصف بأنه مصراعى (Valvate) كما فى شكل (٢٦٨ : ا) ،

(شكل ٢٦٨)



التربيع الزهرى : (أ) مصراعى ، (ب) تنازلى التراكب (ج) تصاعدى التراكب (د) ملتف التراكب فى اتجاه عقرب الساعة ، (هـ) ملتف التراكب فى عكس اتجاه عقرب الساعة ، (و) تراكب ترى فيه ورقتان زهريتان خارجيتان وورقتان داخليتان والخامسة أحد طرفيها داخلى والآخر خارجى .

أما إذا كانت حواف الأوراق الزهرية يغطى البعض بعضها فتوصف بأنها متراكبة (Imbricate) ، ومن أنواع التراكب (شكل ٢٦٨) ما يأتى :

(١) **تراكب تنازلى** (Descending) : وفيه تكون السبلة أو البتلة الخلفية — وهى المقابلة للمحور — خارجية (شكل ٢٦٨ : ب) .

(٢) **تراكب تصاعدى** (Ascending) : وفيه تكون السبلة أو البتلة الخلفية داخلية (شكل ٢٦٨ : ج) .

(٣) **تراكب ملتف أو ملتوى** (Contorted or Convolute) : وفيه يكون أحد طرفى السبلة أو البتلة مغطى والطرف الآخر مغطى ، وهذا النظام يأخذ اتجاهين عكسيين ، أحدهما فى اتجاه عقرب الساعة (شكل ٢٦٨ : د) . والآخر عكس اتجاه عقرب الساعة (شكل ٢٦٨ : هـ) .

(٤) وبالإضافة إلى ما سبق يوجد نوع من التراكب تكون فيه ورقتان خارجيتين وورقتان داخليتين والخامسة أحد طرفيها داخلى والآخر خارجى (شكل ٢٦٨ : و) .

الطلع (Androecium) : يشتمل الطلع على أعضاء التذكير ، إذ يتم فيه تكوين حبوب اللقاح التى تحتوى على الأنوية الذكرية . ويتكون الطلع من عدد من الأسدية ، وتتركب كل سداة من جزء رفيع يعرف بالخيط (Filament) يحمل عند قمته جزءاً منتفخاً يسمى المتك (Anther) .

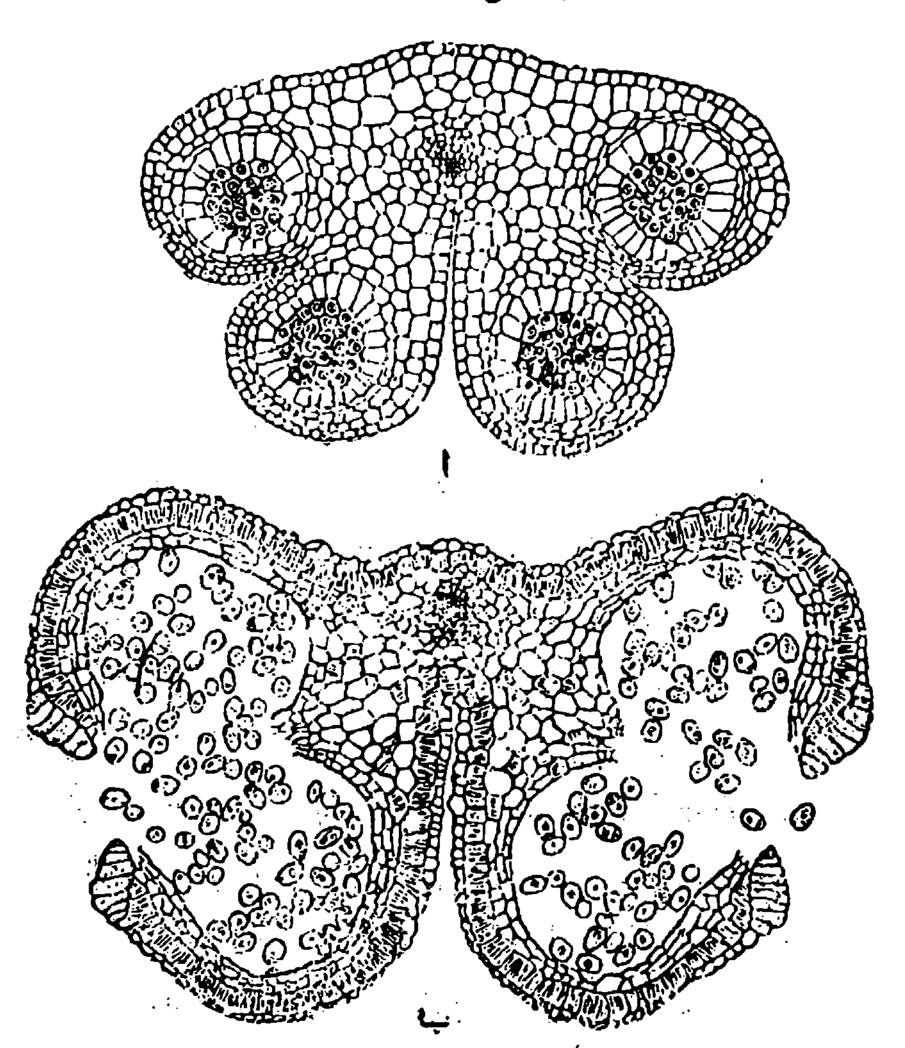
وقد تكون الأسدية منفصلة ، أو ملتحمة بخيوطها ومتوكها سائبة أو العكس ، وفى حالة الالتحام إما أن تكون الخيوط متحدة فى حزمة واحدة كما فى زهرة الخبيزة (Malva sp) ، أو متحدة فى حزمتين كما فى زهرة الفول التى تتحد فيها تسع أسدية لتكون أنبوبة مفتوحة من الجانب الخلفى حيث تنفرد السداة العاشرة ، وفى بعض الأزهار تلتحم الأسدية وينتج عن التحامها أكثر من حزمتين كما فى زهرة البرتقال (Citrus sinensis) ، وفى معظم أزهار نباتات الفصيلة المركبة تـكون المتوك ملتحمة (Syngeneslous) والخيوط سائبة ، وقد تتحد الأسدية بالبتلات فيطلق عليها فوق بتلية (Epipetalous) ، أو تكون منفصلة عنها .

ويتركب المتك من فصين (Lobes) طولين يربطهما جزء خاص يسمى الرابط (Connective) . وإذا فحصنا قطاعا مستعرضاً فى المتك (شكل ٢٦٩) نلاحظ اشتمال كل فص على تجويفين طولين ، يطلق على كل منها اسم كيس اللقاح (Pollen sac) ، ويحتوى كل كيس على عدد من حبوب اللقاح (Pollen grains) ، وتمر طوليا فى وسط الرابط حزمة وعائية . ويتركب جدار المتك من طبقة البشرة الخارجية، تليها من الداخل طبقة ليفية (Fibrous layer) ذات خلايا عمادية الشكل ، بجدرها تغلظ ليفى ماعدا الجدار الخارجى الذى يبقى رقيقاً ، وينعدم وجود الطبقة الليفية على طول الخط الذى يفصل كيسى اللقاح فى الفص . ويلى هذه الطبقة عدد من الطبقات المتوسطة (Intermediate layers) ، ثم الطبقـــة الطرازية (Tapetal layer) – التى تحيط بالتجريف المشتمل على حبوب اللقاح – وخلاياها غنية بمحتوياتها وتستعمل كغذاء لحبوب اللقاح أثناء اكتمال نضجها ، وعند تكوين حبوب اللقاح تنقسم الخلايا الوالدة اللقاحية (Pollen mother cells)

مرتين ، أولهما انقسام اختزالى ، وبذلك ينشأ من كل خلية أربع حبوب لقاح ، كل منها أحادية المجموعة الصبغية .

وعندما يكتمل نضج المتك يختفى الجدار الذى يفصل ما بين كيسى اللقاح ، ومن ثم يندمج التجويفان ، ويصبح كل فص مشتملا على تجويف واحد . وتعتمد آلية انفتاح المتك على اختلاف التغلظ فى جدر خلايا الطبقة الليفية . كما تعتمد كذلك على انعدام هذه الطبقة على طول الخط الواقع بين كيسى اللقاح فى كل فص . فعندما يصبح الجو جافا تفقد طبقة البشرة

(شكل ٢٦٩)



تركيب المتك : (ا) قطاع مستعرض فى متك حديث . (ب) قطاع مستعرض فى متك ناضج متفتح

الماء وتجف ، ثم تتبعها الطبقة التي تليها - وهي الطبقة الليفية - التي تنكمش نتيجة لفقدها الماء ، ويتجلى هذا الانكماش فى جدرها الخارجية الرقيقة ، وينشأ عن كل ذلك إنشقاق المتك على طول الخط الواقع بين كيسى اللقاح فى كل فص على الجانبين ، وهو يعتبر منطقة الضعف إذ يتركب من خلايا رقيقة الجدر فقط ويتبع ذلك التواء جـــدر الفص إلى الخـــارج بقوة تشبه قوة انكماش اللولب . وعند انفتاح المتك تتحرر حبوب اللقاح ، وقد يقع خط التفتح مواجها للمتاع - أى للداخل - فيسمى التفتح فى تلك الحالة داخلياً (Introrse) أو للخارج ويسمى التفتح خارجيا (Extrorse) .

ولكل حبة لقاح جداران ، أحدهما خارجى (Exine) سميك والآخر داخلى (Intine) رقيق ، ويوجد بالجدار الخارجى عدد من الأجزاء الرقيقة تعرف بثقوب الإنبات (Germ pores) ، وتنقسم النواة داخل حبة اللقاح إلى نواتين إحـــداهما كبيرة ويطلق عليها اسم النواة التناسلية (Generative nucleus) والأخرى صغيرة وتسمى النواة الأنبوبية (Tube nuclens) كما فى (شكل ٢٨٢) ، وتكون حبة اللقاح غالباً كروية الشكل ، وفى بعض الأحيان تكون بيضية أو مضلعة ، وبعضها ذات سطوح خارجية مزركشة تتميز بأشكال مختلفة تتخذ أساساً لتقسيم بعض النباتات .

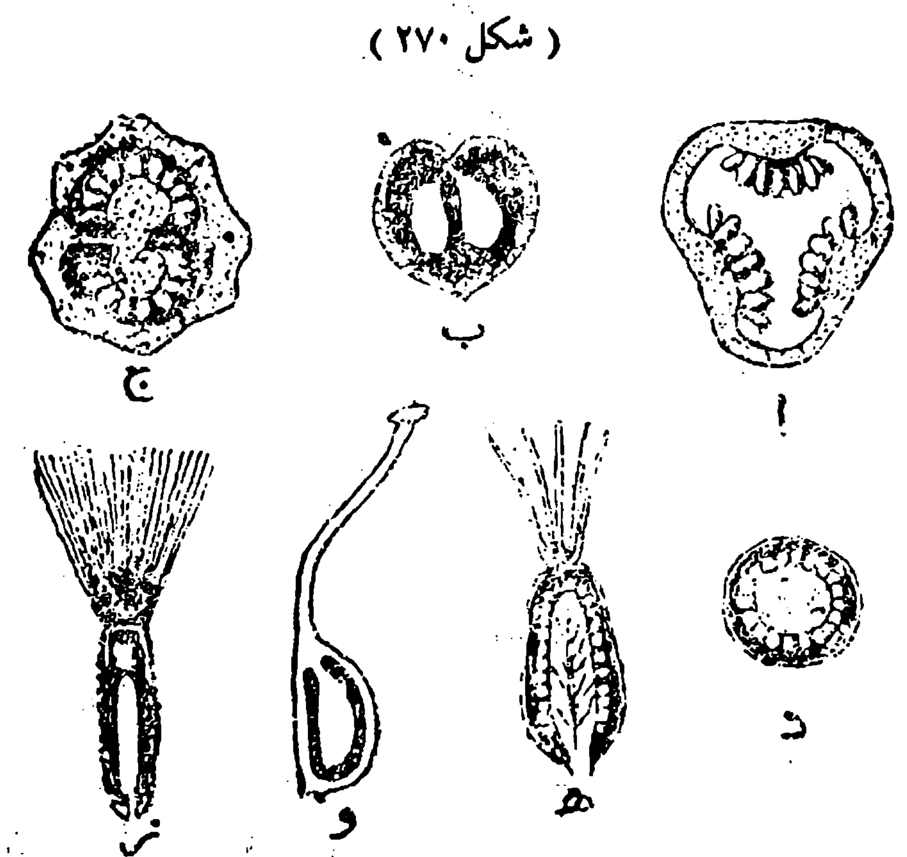
المتاع (Gynoccium) : يمثل المتاع عضو التأنيث إذ تتكون بداخله الأثوية الأنثوية ، ويتركب من عدد من الأوراق المتحورة ، وتعرف الواحدة منها بالكربلة ، التفت حافتاها والتحمتا لتكوين تجويف فى جزئها السفلى يحتوى على البويضات ، ويعرف بالمبيض (Ovary) ، أما الجزء العلوى فيكون مصمتا ومستطيلا ويسمى القلم (Style) . وينتهى عادة بجزء منتفخ يتخذ أشكالا متعددة ، منها المفلطح والكروى والريشى ، ويطلق عليه اسم الميسم (Stigma) ، وهو الجزء المعد لاستقبال حبوب اللقاح ، وفى بعض الأزهار ينعدم وجود القلم فيكون الميسم متصلا بالمبيض اتصالا مباشراً ، وتنشأ البويضات على نتوءات خاصة تبرز من السطح الداخلى للمبيض ، يطلق على كل واحد منها إسم المشيمة (Placenta) .

ويختلف المتاع من حيث التركيب ، فقد يتركب من كربلة واحدة كما فى نبات العايق (Delphinium sp) ، أو من عدة كرابل منفصلة ويقال له حينئذ سائب الكرابل (Apocarpous) كما فى فى نبات الشليك (Fragaria sp) أو يتركب من عدة كرابل متحدة ويعرف بمتحد الكرابل (Syncarpous) ويعد المتاع فى الحالتين الأولى والثانية متاعا بسيطا (Simple pistil) ، وفى الحالة الثالثة متاعا مركبا (Compound pistil) . وعندما تتحد الكرابل إما أن يكون الاتحاد مقصوراً على المبايض فقط . وبذلك تظهر الأقلام والمياسم منفصلة أو يشمل الالتحام المبايض والأقلام دون المياسم ، ويندر أن يكون الالتحام شاملا لجميع الأجزاء – حيث لاتتميز المياسم – كما فى زهرة الربيع (Primula sp) ، وتختلف درجة التحام المبايض فى الأزهار المختلفة ، ففى بعض الأزهار تلتصق الكرابل بحوافها المتجاورة خارجيا دون أن تلتقى فى المركز ، وفى هذه الحالة يكون المبيض وحيد الغرفة (Unilocular) وإن تعددت كرابله ، وتنشأ البذور فى مواضع اتصال الحواف . وفى أزهار أخرى تنطوى حواف الكرابل إلى الداخل وتتقابل عند المركز وتلتحم مع بعضها البعض ، وبذلك ينقسم المبيض إلى عدة غرف ويقال له عديد الغرف (Plurilocular) ، ويتم هذا الانقسام بوساطة الحواجز التى نشأت من أجزاء الكرابل المتحدة ، وفى هذه الحالة يتساوى عدد الكرابل مع الغرف ، وفى بعض الأحيان لاترجع نشأة الحواجز إلى الأجزاء الملتحمة من جدر الكرابل بل إلى نمو أجزاء جديدة من جدار المبيض إلى الداخل كما فى أزهار الفصيلة الصليبية (Cruciferae) ، وتوصف الحواجز فى هذه الحالة بأنها كاذبة (False) .

الوضع المشيمى (Placentation) : تعرف طريقة توزيع المشيمات فى المبيض بالوضع المشيمى ، وغالباً ما يكون عدد المشيمات مساويا لعدد الكرابل فى المتاع ، ويوصف الوضع المشيمى بأنه جدارى (Parietal) – (شكل ٢٧٠ : ا.ب) عندما تكون البويضات مرتبة فى صفوف على جدار

المبيض . وعندما تظهر البويضات مرتبة فى صفوف على المحور الناشىء من تلاقى حواف الكرابل يوصف الوضع المشيمى بأنه محورى (Axile) كما فى (شكل ٢٧٠ : ج) . وهناك نوع آخر يطلق عليه اسم الوضع المشيمى المركزى (Free central) — (شكل ٢٧٠ : د ، هـ) — وفيه تظهر البويضات على مشيمة تنشأ على هيئة عامود قصير يخرج من قاعدة المبيض ولايتصل بقمته ولابجداره ، ويكون المبيض دائماً وحيد المسكن كما فى نبات زهرة الربيع . وعندما يتكون المبيض من غرفة واحدة أو اثنتين — أو نادراً أكثر من ذلك — وتحتوى كل غرفة على بويضة واحدة تخرج من قمة المبيض يعرف الوضع المشيمى بالقمى (Apical) كما فى (شكل ٢٧٠ : و) .

(شكل ٢٧٠)

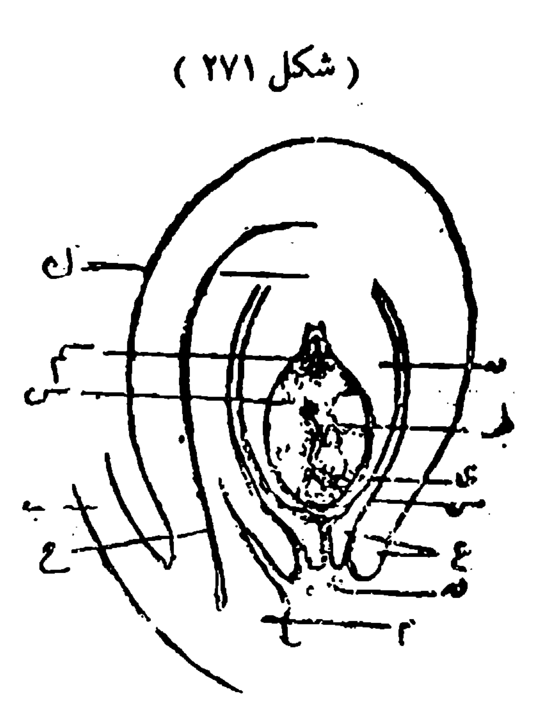


أوضاع مشيمية مختلفة (ا — د) قطاعات مستعرضة فى مبايض تبين الأوضاع المشيمية الآتية على الترتيب (ا) الجدارى فى مبيض عديد الكرابل ، (ب) الجدارى فى مبيض وحيد الكربلة ، (ج) المحورى ، (د) المركزى السائب . (ج — ز) قطاعات طولية فى مبايض تبين الوضع المشيمى الآتى (هـ) المركزى السائب ، (و) القمى ، (ز) القاعدى .

أما إذا خرجت البويضة من القاعدة فيطلق عليه اسم الوضع المشيمى القاعدى (Basal placentation) شكل (٢٧٠ : ز) . ويتراوح عدد البويضات فى المبيض بين واحدة كما فى الفصيلة النجيلية (Gramineae) ، إلى بضع مئات كما فى نبات التبغ (Nicotiana tabacum) .

وتتصل البويضة بالمشيمة بوساطة الحبل السرى (Funicle) ، وتتركب من الكيس الجنينى (Embryo sac) فى المركز ، يحيط به نسيج يسمى النيوسيلة (Nucellus) – شكل ٢٧١ – ويغطى هذا النسيج من الخارج بغلافين بويضيين (Integuments) . أحدهما خارجى والآخر داخلى. وينفذ خلالهما ثقب يصل ما بين سطح البويضة الخارجى وسطح النيوسيلة ويعرف بالنقير (Micropyle) . وعند قاعدة البويضة – حيث يتحد الغلافان مع النيوسيلة – توجد الكلازا (Chalaza) .

(شكل ٢٧١)

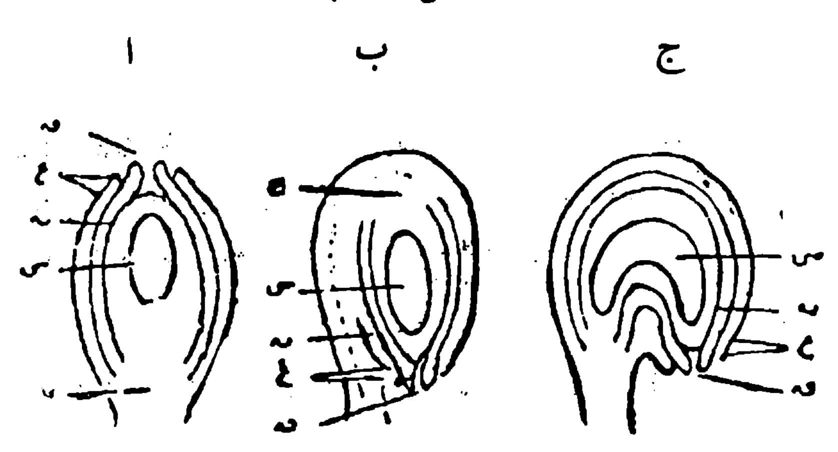


رسم تخطيطى لقطاع فى بويضة ناضجة قبل الإخصاب يبين من أعلى إلى أسفل: (ك) الكلازا (ن) النيوسيلة، (سم) الخلايا السمتية، (س) الكيس الجنينى (ط) النواتان القطبيتان، (ى) البيضة ، (د) خلية مساعدة ، (ع) الغلافان البويضيان ، (ح) الحبل السرى، (ل) النقير، (م) المشيمة.

أشكال البويضة : تأخذ البويضة عدة أشكال ، تختلف أساسياً فى شكل الكيس الجنينى وموضع النقير ، ففى البويضة المستقيمة (Orthotropous) – شكل (٢٧٢ : ا) – يقع الحبل السرى والكلازا والنقير على خط مستقيم واحد ، ويكون النقير أبعد أجزاء البويضة عن المشيمة . وفى البويضة المنعكسة (Anatropous) – شكل (٢٧٢ : ب) – وهى أكثر أنواع البويضات

شيوعا يتحد الغلاف الخارجى جزئياً مع الحبل السرى ، ويقع النقير على جانب الحبل السرى مواجها للمشيمة ، على حين تكون الكلازا أبعد أجزاء البويضة عن المشيمة ويكون الكيس الجنينى مستقيما . أما فى البويضة الكلوية (Campylotropous) — شكل (٢٧٢ : ج) — فيكون الكيس الجنينى منحينا ، ويقع النقير على جانب الحبل السرى .

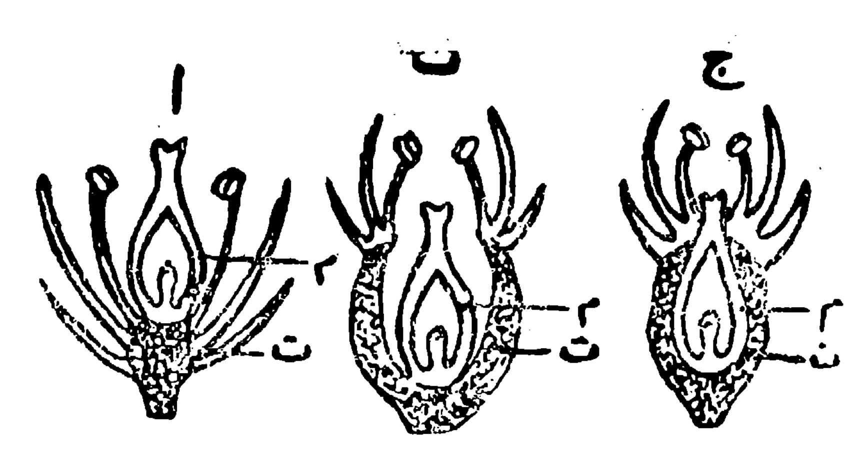
(شكل ٢٧٢)



أنواع البويضات فى نباتات كاسيات البذور : (ا) مستقيمة ، (ب) منعكسة ، (ج) كلوية ، (س) الكيس الجنينى ، (غ) الغلافان البويضيان ، (ق) النقير ، (ك) الكلازا ، (ن) النيوسيلة .

ترتيب المحيطات الزهرية على التخت : يكون التخت فى معظم النباتات محدبا بعض الشىء ، ويحمل المبيض والأسدية والغلاف الزهرى ، وتقع المحيطات الزهرية الثلاثة الخارجية أسفل المبيض . وفى هذه الحالة توصف الزهرة بأنها تحت متاعية (Hypogynous) — شكل (٢٧٣ : ا) — ويكون المبيض علويا ، وعندما يكون التخت مفلطحا والأجزاء الزهرية مرتبة عليه فى مستوى واحد تقريباً ، أو مقعراً يحتوى المبيض بداخله دون أن يتحد معه جانبياً ، توصف الزهرة بأنها محيطة المتاعية (Perigynous) كما فى (شكل ٢٧٣ : ب) ، وعندما يكون المبيض محاطا إحاطة شاملة بالتخت ومتحدا معه إتحاداً كلياً ، بحيث يقع المحيطات الزهرية فى مستوى أعلى من المبيض ، توصف الزهرة بأنها فوق متاعية (Epigynous) —(شكل ٢٧٣ : ج)— ويكون المبيض سفليا .

(شكل ٢٧٣)



الطرز المختلفة للأزهار – كما تبدو فى قطاعات طولية – بحسب وضع المحيطات الزهرية على التخت : (أ) زهرة تحت متاعية . (ب) زهرة محيطة المتاعية . (ج) زهرة فوق متاعية . ويرمز المبيض بحرف (م) والتخت بالحرف (ت) .

الرموز الزهرية : يرمز لأسماء المحيطات الزهرية ولبعض الصفات التى تتميز بها الأزهار برموز تستعمل عند كتابة القانون الزهرى ، وتتلخص الرموز الزهرية فيما يلى :

زهرة منتظمة	⊕	الكأس	ك
زهرة وحيدة التناظر	·|·	التويج	ت
زهرة خنثى	☿	الطلع	ط
زهرة ذكرية	♂	المتاع	م
زهرة أنثوية	♀	الغلاف الزهرى	غل

ولا يتميز فى الغلاف الزهرى كأس وتويج كما فى نباتات ذوات الفلقة الواحدة .

القانون الزهرى (Floral formula) : باستعمال الرموز السابقة يمكن التعبير بشىء من الإيجاز عن الصفات التى تتميز بها الزهرة ، ويطلق على هذه المجموعة من الرموز إسم القانون الزهرى – ويبدأ هذا القانون بالرمز الدال

على تماثل الزهرة ، ثم الرمز الدال على نوع الزهرة إذا كانت ذكرية أو أنثوية أو خنثوية ، ثم تلى ذلك الرموز الدالة على المحيطات . ويوضع على يسار كل رمز من هذه الرموز العدد الذى يدل على الأجزاء فى كل محيط . وإذا كانت الأوراق الزهرية عديدة وغير محدودة يرمز لها بالرمز ∞ . وإذا كانت متحدة يوضع العدد الدال عليها بين قوسين . وإذا كانت الزهرة تحت متاعية يوضع خط أسفل الرمز الدال على المتاع ، وإذا كانت فوق متاعية يوضع خط أعلاه ، أما إذا كانت محيطية المتاعية فلا يوضع خط على الإطلاق .

النورة :

تنشأ الأزهار إما وحيدة فى نهاية الساق كما فى الخشخاش (Papaver) وبذلك تحـــد من نمو الساق : أو فى مجموعة تعرف بالنورة (Inflorescence) ويطلق على الجزء من الساق الذى يحمل الأزهار اسم المحور أو الشمراخ (Peduncle) ، وتخرج الزهرة إما من إبط ورقة خضراء عادية . أو من إبط ورقة أصغر حجما من الورقة العادية ، أو من إبط ورقة حرشفية ، وتعرف الورقة فى جميع هذه الحالات بالقنابة ، وفى بعض الأحيان تظهر الأزهار بدون قنابات .

وتتباين النورات تبعاً لنوع التفرع وتوزيع الأزهار وطبيعة المحور وعوامل أخرى ، وتتميز النورة إلى نوعين إذا اتخذنا طريقة التفرع أساساً للتقسيم .

(١) النورة غير المحدودة (Racemose) : وفيها يكون التفرع صادق المحور .

(٢) النورة المحدودة (Cymose) : وفيها يكون التفرع كاذب المحور .

النورة غير المحدودة :

فى هذا النوع يستمر المحور فى نموه . ويظهر عند قمته براعم زهرية حديثة تتكشف عن أزهار فيما بعد ، وباستمرار النمو تتكون براعم زهرية أخرى ، وهكذا نجد على امتداد المحور تدرجاً فى عمر الأزهار ودرجة تفتحها ، إذ تقع الأزهار الحديثة – التى لم تتفتح بعد – عند القمة والأزهار المتفتحة

المتقدمة فى السن عند القاعدة ، بمعنى أن التفتح يبدأ من أسفل إلى أعلى ، وفى حالة تفلطح المحور الزهرى يبدأ التفتح من الخارج إلى الداخل . وتتميز النورة غير المحدودة إلى عدة أنواع (شكل ٢٧٤) منها :

(أ) النورة العنقودية البسيطة (Simple raceme) : يستطيل المحور فى هذا النورة ويحمل الأزهار على أعناق لا تختلف كثيراً فى أطوالها ، مثال ذلك نورة نبات حنك السبع (.Antirrhinum sp) وهناك نورة تعرف بالعنقودية المركبة (Panicle) ، وفيها يحمل المحور الأصلى نورات عنقودية بسيطة بدلا من الأزهار كما فى نبات العنب .

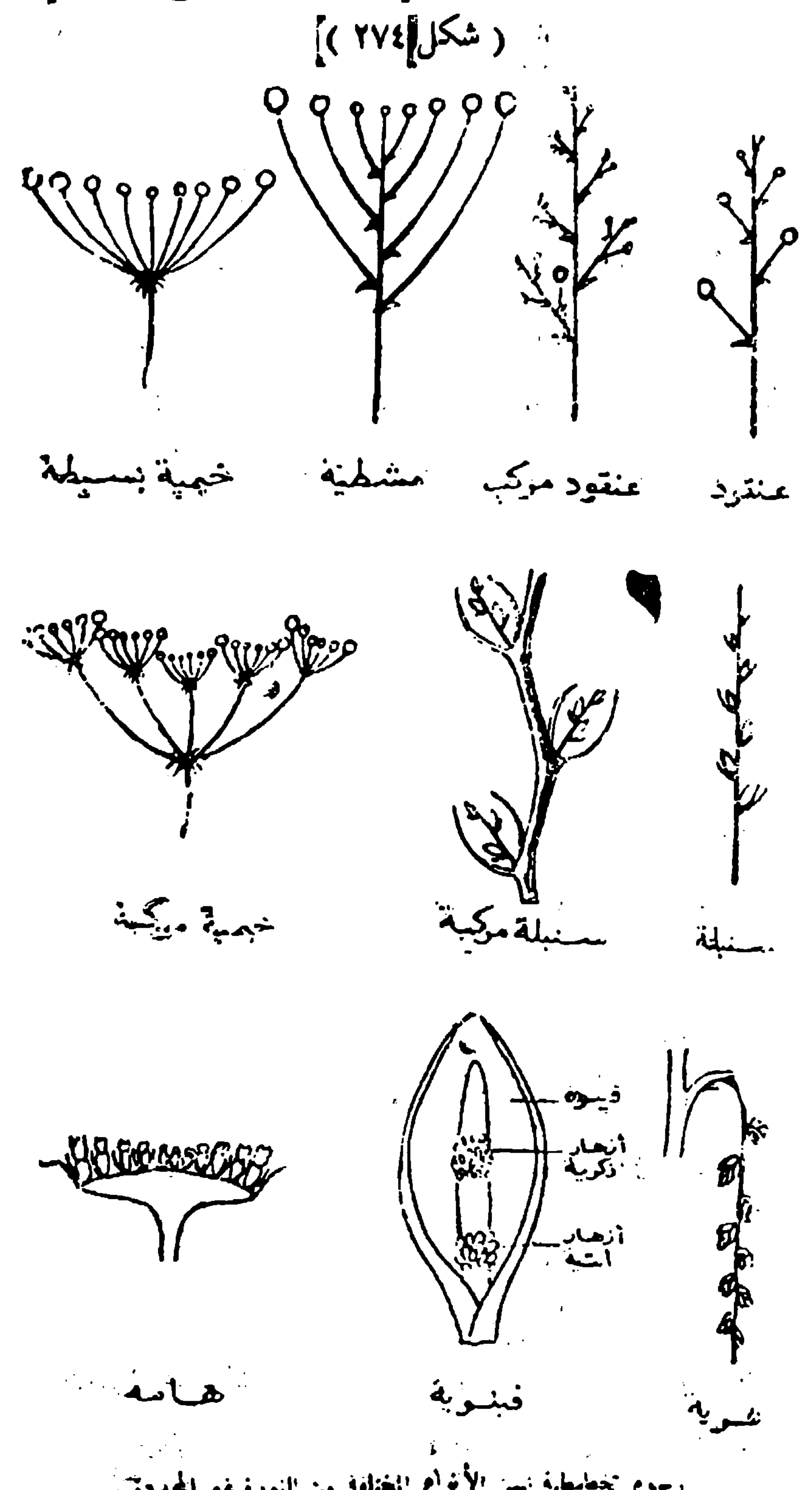
(ب) النورة المشطية (Corymb): هذا النوع يشبه لحد ما النورة العنقودية إلا أن أعناق الأزهار السفلى تستطيل حتى تنتظم الأزهار جميعها فى مستوى واحد تقريباً كما فى نورة نبات الإيبرس (Iberis) .

(ج) النورة الخيمية (Umbel) : فى هذه النورة يقصر الشمراخ إلى درجة اختفاء السلاميات التى تفصل الأزهار ، وبذلك تبدو جميع الأزهار وكأنما خرجت من موضع واحد ، والأزهار هنا معنقة وتقع فى مستوى واحد تقريباً كما فى النورة المشطية . أما فى النورة الخيمية المركبة (Compound umbel) فيتفرع المحور الأصلى للنورة إلى عدة فروع تخرج من نقطة واحدة ، وينتهى كل منها بعدة أزهار مرتبة بنفس الطريقة التى تترتب بها الأزهار فى النورة الخيمية البسيطة ، والنورة الخيمية المركبة هى الأكثر شيوعاً ، وتعتبر من أهم الصفات التى تميز الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) .

(د) سنبلة (Spike) : وهى تشبه إلى حد كبير النورة العنقودية إلا أن الأزهار هنا جالسة وليست معنقة ، ومن أمثلتها نورة نبات لسان الحمل (Plantago major) وتوجد أيضاً نورة سنبلية مركبة (Compound spike) تختص بها نباتات الفصيلة النجيلية مثل القمح (.Triticum sp) ، وتتركب من محور مستطيل يحمل بدلا من الأزهار عدداً من السنابل البسيطة ، يطلق على

الواحدة منها سنيبلة (Spikelet) ، وهى إما أن تكون جالسة أو ذات عنق قصير ، وتتركب من عدد من الأزهار يختلف باختلاف نوع النبات .

(شكل ٢٧٤)



رسوم تخطيطية تبين الأنواع المختلفة من النورة غير المحدودة .

(ه) نورة هرية (Catkin) : هذه النورة تتركب من عدد من الأزهار الجالسة كما فى السنبلة ، ولكنها وحيدة الجنس ، وتتدلى النورة من الساق ، وغالباً تكون القنابات حرشفية ، مثال ذلك نورة نبات الصفصاف (Salix sp.).

(و) نورة قينوية أو إغريضية (Spadix): وهى تشبه السنبلة إلا أن محور النورة شحمى غليظ والأزهار وحيدة الجنس ، وتغلفها قنابة كبيرة تعرف بالقينوة (Spathe) ، وتكون خضراء كما فى نخيل البلح أو ملونة كما فى القلقاس.

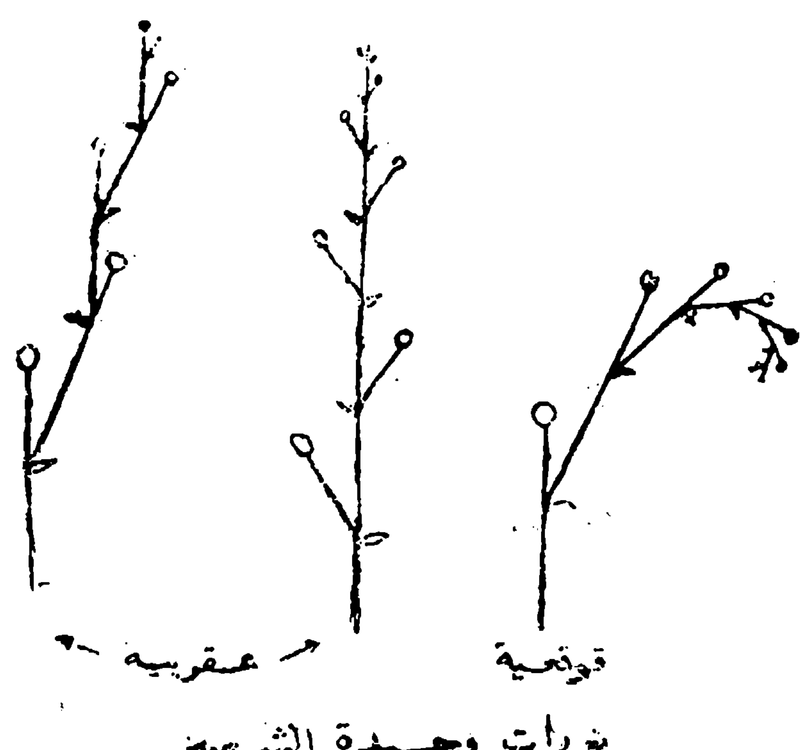
(ز) الهامة (Capitulum) : فى هذا النوع يأخذ المحور أشكالا متعددة ، منها الكروى والمقعر والمحدب والمفلطح ، وتستوى الأزهار الجالسة فوق المحور حيث تقع الأزهار الصغيرة فى المركز ، وتتدرج فى الكبر كلما اتجهنا إلى الخارج ، وتحيط بالأزهار مجموعة من القنابات المتكاثفة تعرف بالقلافة (Involucre) ، وتبدو النورة فى مجموعها كأنها زهرة واحدة كما فى نباتات الفصيلة المركبة (Compositae) .

النورة المحدودة :

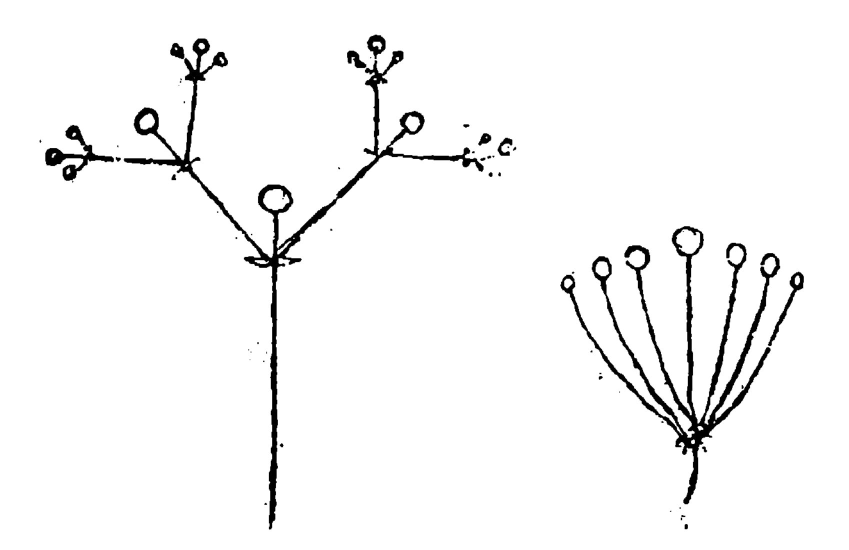
فى هذا النوع تنشأ الأزهار من البراعم الطرفية ، وبذلك يقف نمو الساق الأصلية ، ثم يخرج منها فرع أو فروع جانبية تأخذ فى النمو لفترة ثم تنتهى بأزهار فيقف نموها ، وقد تتكرر هذه الظاهرة عدة مرات فتعرف النورة بالمركبة ، وعلى هذا النحو تبدأ الأزهار العليا — وهى الأكبر سنا — فى التفتح أولا ثم تليها الأزهار السفلى وهى الأحدث تكويناً ، بمعنى أن الانفتاح — على النقيض منه فى النورة غير المحدودة — يبدأ من أعلى إلى أسفل . وتتميز النورة المحدودة إلى ثلاثة أنواع (شكل ٢٧٥) :

(أ) النورة وحيدة الشعبة (Monochasium) : فى النورة البسيطة وحيدة الشعبة لا يتجاوز عدد الأزهار الإثنتين ، إذ ينتهى المحور الأصلى بزهرة ، ويخرج منه فرع جانبى واحد ينتهى أيضاً بزهرة . أما فى النورة المركبة وحيدة الشعبة فتتعدى الأزهار الإثنتين ، وتتخذ وضعين ، أحدهما تظهر فيه الأزهار

(شكل ٢٧٥)



نورات وحيدة الشعبة



رسوم تخطيطية لبعض الأنواع الخاصة من النورة المحدودة

جميعها فى ناحية واحدة من المحور والقنابات فى الناحية الأخرى ، ومن ثم يبدو المحور فى شكل المنحنى ، وتسمى النورة قوقعية (Helicoid) ، كما فى الفصيلة البوراجينية (Boraginaceae) . والوضع الآخر تظهر فيه الأزهار المتعاقبة فى جهتين متقابلتين ، ويبدو المحور مستقيما أو متعرجا ، وتسمى النورة عقربية (Scorpioid) ، كنورة نبات الكتان (Linum) .

(ب) النورة ثنائية الشعب (Dichasium) : النورة البسيطة ثنائية الشعب تتركب من ثلاث أزهار فقط ، وينتهى المحور الأصلى بزهرة تحد نموه ، ثم يخرج من إبط قنابتين متقابلتين على المحور فرعان جانبيان ينتهيان بزهرتين ، أحدث فى تكوينهما من الزهرة الأولى . أما فى النورة المركبة فتستبدل الزهرتان الجانبيتان بنورتين بسيطتين ثنائيتى الشعب ، وقد يتكرر هذا التنسيق عدة مرات كما فى نبات الجيبسوفيلا (Gypsophila) .

(ج) النورة عديدة الشعب (Polychasium) : يتميز هـذا النوع عن النورات ثنائية الشعب بوجود أكثر من زهرتين تحيطان بالزهرة الوسطى . والنورة عديدة الشعب والخيمية – وإن كانتا متقاربتين فى مظهرهما العام – إلا أنه فى الأولى تتوسط الزهرة الكبيرة سناً باقى الأزهار ، بينما فى الثانية يحدث العكس . أى أن الزهرة المركزية هى الأصغر سناً ثم تتدرج الأزهار فى الكبر كلما اتجهنا إلى الخارج .

وهناك نوع من النورات يختلط فيه نوعان أو أكثر من أنواع سابقة الذكر ، ويتضح ذلك فى بعض النورات التى تنتظم فيها وحدات من النورات الفرعية المحدودة فى تعاقب قمى ، أى أن أصغر هذه النورات الفرعية المحدودة تكون أقربها إلى القمة وتتدرج فى الكبر كلما اتجهنا ناحية القاعدة . ومن الأمثلة أيضاً النورة ثنائية الشعب التى تنتهى فيها الأفرع الجانبية بنورات وحيدة الشعبة .

التلقيح والإخصاب

التلقيح :

عندما تنضج حبوب اللقاح تتحلل خلايا الجدار فيما بين كيسى اللقاح ، ويتصل تجويفا الكيسين فى كل فص . ويفتحان إلى الخارج بفتحة مشتركة ، تخرج منها حبوب اللقاح ، ويتم هذا الانفتاح بوساطة خلايا خاصة مرتبة فى صفين على جانبى المتك ، وتعرف هذه بخطوط الانفتاح (Lines of dehiscence) ، وتعرف عملية انتقال حبوب اللقاح من المتك إلى الميسم بالتلقيح (Pollination) .

وإذا تم التلقيح بانتقال حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم نفس الزهرة — أو أى زهرة على نفس النبات — سمى التلقيح ذاتياً (S lf - pollination) ، أما إذا انتقلت حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم زهرة أخرى على نبات آخر أطلق على هذه العملية اسم التلقيح الخلطى (Cross-pollination) .

والتلقيح الخلطى هو الشائع بين النباتات ، نظراً لتوافر بعض العوامل التى تساعد على حدوثه ، ومن بين هذه العوامل انفصال أعضاء التذكير عن أعضاء التأنيث فى أزهار مستقلة وحيدة الجنس (Unisexual) ، وقد توجد الأزهار الذكرية والأنثوية على نبات واحد فيسمى النبات أحادى المسكن (Monoecious) أو على نباتين منفصلين فيسمى ثنائى المسكن (Dioecious) وفى هذه الحالة يكون التلقيح الخلطى مؤكداً .

وكذلك يعتبر نضج أحد نوعى الأعضاء الجنسية قبل الآخر من أهم العوامل التى تساعد على التلقيح الخلطى ، ففى بعض النباتات تنضج الأسدية قبل المتاع ، وبذلك لا يكون الأخير قد وصل إلى مرتبة البلوغ التى تؤهله لاستقبال حبوب اللقاح ، ولا يكون التلقيح مجدياً إلا إذا انتقلت حبوب اللقاح إلى زهرة أخرى ناضجة المتاع ، وتوصف الأزهار فى هذه الحالة بأنها مبكرة التذكير (Protandrous) ، وفى نباتات أخرى يحدث العكس ،

أى يصبح الميسم مهيئاً لاستقبال حبوب اللقاح قبل نضج الأسدية ، وحينئذ توصف الزهرة بأنها مبكرة الأنوثة (Protogynous) . وهناك عوامل أخرى أقل أهمية ، منها تفتح المتك للخارج ، أو وجود المتوك فى مستوى تحت مستوى المياسم ، أو العكس عندما تتدلى المتوك .

وتنتقل حبوب اللقاح من زهرة إلى أخرى بعدة وسائل ، أهمها الرياح والحشرات ، ونادراً ما يتم انتقال حبوب اللقاح بوساطة الماء ، إذ يقتصر ذلك على قليل من النباتات المائية .

التلقيح الهوائى (Wind-Pollination or Anemophily) : يحدث هذا النـــوع من التلقيح فى نبـــاتات الصنوبر والبلوط ونباتات الفصيلة النجيلية وغيرها ، ويكثر حدوثه فى النباتات ذوات الأزهار البسيطة وحيدة الجنس التى تنتج كميات كبيرة من حبوب اللقاح ، ومن الشروط الواجب توافرها فى النباتات التى يتم فيها التلقيح الهوائى تعدد الأسدية وكبر حجم المتكوك واحتواؤها على كميات كبيرة من حبوب اللقاح ، وتفرع الميسم ليأخذ شكلا ريشياً (شكل ٢٩٧ : ج) وبذلك يتيسر استقبال أكبر قدر ممكن من حبوب اللقاح كما فى الفصيلة النجيلية . وإن وجود النورة مدلاة طليقة فى حركتها ، وكذلك وجود المتوك معلقة وسهلة الحركة ، مما يساعد كثيراً على سهولة تحرر حبوب اللقاح . وتتميز الأزهار هوائية التلقيح بدقة حجمها واخضرار لونها ، وهى إما أن تكون عارية أو ذوات غلاف زهرى بسيط ، وتفتقر إلى المظهر الجذاب الذى تتميز به النباتات حشرية التلقيح .

التلقيح الحشرى (Insect-pollination) : من بين الصفات التى تميز الأزهار حشرية التلقيح عن غيرها وجود الرحيق والغلاف الزهرى الكبير نسبياً ذو الألوان الجذابة . والرحيق سائل سكرى تفرزه غدد رحيقية توجد على التخت ، الذى يكون مفلطحاً أو أنبوبياً ، وتوجد الغدد أيضاً عند قواعد البتلات أو الأسدية أو الأجزاء الأخرى من الزهرة .

وتمتاز حبوب اللقاح فى الأزهار حشرية التلقيح بسطحها اللزج أو الخشن مما يسهل تعلقها بجسم الحشرة ، كما يمتاز الميسم بسطحه اللزج الذى يجعله صالحاً لاستقبال حبوب اللقاح ، وغالبية الحشرات التى تنقل حبوب اللقاح لها خرطوم طويل أو قصير تمتص به الرحيق ، وفى الأزهار ذوات الفتحة الواسعة يسهل على الحشرات ذوات الخرطوم القصير والطويل على السواء امتصاص الرحيق ، بينما فى الأزهار التى يأخذ التويج فيها شكل الأنبوبة الطويلة الضيقة يتعذر على الحشرات ذوات الخرطوم القصيرة امتصاص الرحيق . عندما تهبط الحشرة على الغلاف الزهرى تعلق بجسمها حبوب اللقاح الموجودة بالمتوك ، فإذا ما انتقلت إلى زهرة أخرى احتك جسمها بالميسم ، ومن ثم تنتقل حبوب اللقاح من جسم الحشرة إلى الميسم .

آلية التلقيح :

تختلف آلية التلقيح من زهرة إلى أخرى ، وسنذكر على سبيل المثال آلية التلقيح فى أزهار أربعة نباتات هى : بسلة الزهور (**Lathyrus odoratus**) والسلفيا (**Salvia sp.**) والبانسيه (**Viola tricolor**) وعباد الشمس **(Helianthus annuus)** .

آلية التلقيح فى زهرة بسلة الزهور : يمثل التلقيح فى زهرة بسلة الزهور نوع التلقيح الذى يحدث فى أزهار الفصيلة الفراشية بصفة عامة . ويتركب التويج فى هذه الأزهار من بتلة خلفية كبيرة يطلق عليها اسم العلم ووضعها رأسى ، وزوج من البتلات الجانبية تشبه الأجنحة ، وزوج من البتلات الأمامية تتحدان وتأخذان شكل الزورق (شكل ٢٧٦) ، ويتركب الطلع من عشرة أسدية ، تتحد خيوط تسع منها مكونة أنبوبة سدائية مفتوحة طولياً من الخلف وتظل السداة العاشرة — وهى الخلفية — سائبة ، ويأخذ المبيض شكل القرن ، ويكون له قلم طويل ينتهى بالميسم . ويظهر الرحيق على

السطح الداخلى لقواعد الأسدية ، ثم يتجمع فى تجويف محصور بينها وبين المبيض ، ويوجد امتداد عند قاعدة كل جناح يتعشق فى الشق الموجود فى بتلة الزورق المجاورة .

ولهذا التركيب أثره فى آلية التلقيح ، إذ أنه عندما تهبط الحشرة على الأجنحة وتدفع بخرطومها فى الشق الذى تكونه السداة المنفردة لتمتص الرحيق تنخفض الأجنحة وينخفض معها الزورق ، ويترتب على ذلك بروز الأسدية والميسم ، وتحتك بالسطح السفلى لجسم الحشرة ، وعندما تغادر الحشرة الزهرة تعود الأجزاء الزهرية إلى وضعها الأصلى ، وتحتجب الأسدية والميسم داخل الزورق . وإذا ما زارت الحشرة زهرة أخرى احتك جسمها بالشعيرات التى تظهر أسفل الميسم على صورة فرشاة ، وبذلك تنتقل إليها حبوب اللقاح .

(شكل ٢٧٦)



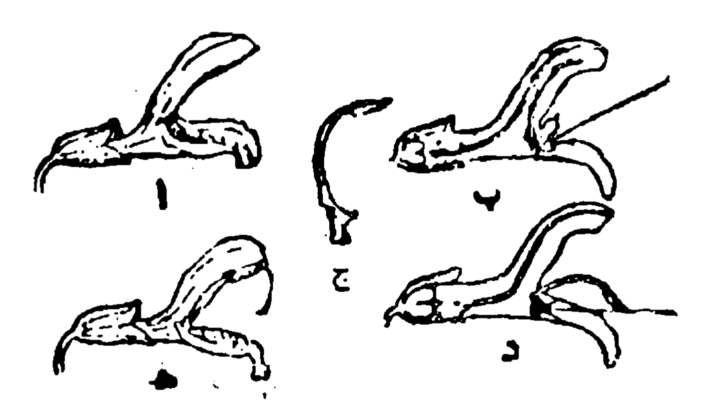
تركيب زهرة بسلة الزهور يبين كيف تتم عملية التلقيح : (ا) قطاع طولى مركزى فى الزهرة ، (ب) منظر خارجى للزهرة ، (ج) الطلع والمتاع ، (د) المتاع .

آلية التلقيح فى زهرة السلفيا : تتركب زهـــرة السلفيا من كأس وتويج لونهما أحمر ، ويتكون الكأس من خمس سبلات ملتحمة والتويج من خمس بتلات ملتحمة على شكل أنبوبة ، والبتلتان الخلفيتان تكونان الشفة العليا والثلاث الأمامية تكون الشفة السفلى (شكل ٢٧٧) التى تهبط عليها الحشرة وتمتد الزهرة فى وضع أفقى متعامدة على محور النورة . ولزهرة السلفيا سداتان ولكل سداة رابط (Connective) طويل يفصل فصى المتك . وأحد فصى المتك خصب والآخر عقيم ، ويكون الرابط مع الخيط رافعة من النوع الأول ، أحد ذراعيها طويل والآخر قصير .

وينتهى الذراع الطويل بفص المتك الخصب ، أما الذراع القصير فينتهى بالفص العقيم (شكل ٢٧٧ : ج) ، ويظهر الفصان العقيمان للسداتين فى حلق أنبوبة التويج ، ويفرز الرحيق عند قاعدة المبيض .

وعندما تزور الحشرة الزهرة باحثة عن الرحيق ، وتهبط على الشفة

(شكل ٢٧٧)



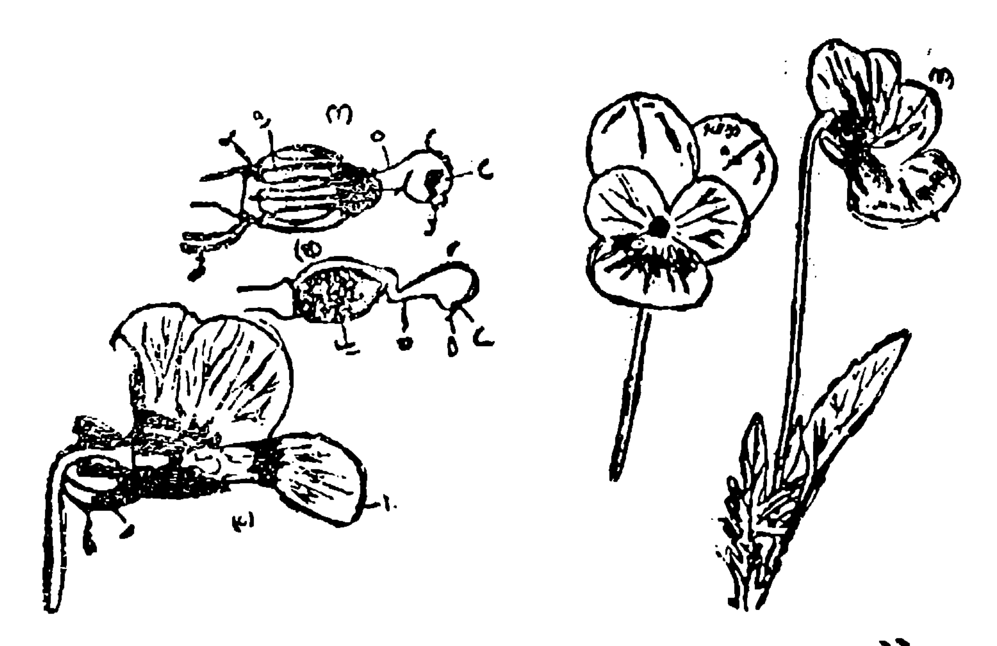
التلقيح الحشرى فى نبات السلفيا: (ا) منظر خارجى للزهرة، (ب) قطاع طولى فى الزهرة ويشير السهم الى موضع خرطوم الحشرة ، (ج) منظر لسداة مكبرة نسبيا يبين تركيبها وكيفية اتصالها بالخيط القصير، (د) قطاع فى نفس الزهرة ب يبين كيف تتسبب الحشرة فى تحرك المتك إلى أسفل حتى يلامس ظهرها وينفض عليه حبوب اللقاح، (هـ) زهرة أكبر سنا استطالت فيها الأقلام وتدلى الميسم فى مدخل التويج (عن كرنر).

السفلى ، ترسل خرطومها داخل أنبوبة التويج ، وبذلك تدفع الفصين العقيمين (شكل ٢٧٧ : ب) فيتحرك تبعا لذلك الفصان الخصيبان إلى أسفل (حسب الرافعة — كما فى شكل ٢٧٧ : د) — وينفضان حبوب اللقاح على ظهر الحشرة ، وهذا ما يحدث عامة فى المرحلة الأولى التى يتم فيها نضج المتك قبل المتاع . أما فى المرحلة الثانية التى يتم فيها نضج المتاع فيبرز فصا الميسم (شكل ٢٧٧ : ه) ويتهيآن لاستقبال حبوب اللقاح ، فعندما تزور الحشرة الزهرة يحتك فصا الميسم بظهرها ، وبذلك تنتقل حبوب اللقاح من ظهر الحشرة إلى الميسم وتتم عملية التلقيح .

آلية التلقيح فى زهره البانسيه : تتركب زهرة البانسيه من كأس مكون من خمس سبلات منفصلة لها زوائد تتدلى أسفل التخت ، ويتركب التويج من خمس بتلات منفصلة غير متساوية ، وتتميز البتلة الأمامية باستطالتها أسفل التخت على هيئة مهماز (Spur) أنبوبى الشكل (شكل ٢٧٨ : ا) ، ويتكون الطلع من خمس أسدية لها خيوط قصيرة ومتوك تتجمع حول المبيض والقلم وتغلفهما باحكام (شكل ٢٧٨ : ٣) . ويستطيل الموصلان فى المتكين الأمامين ليكونا زائدتين داخل المهماز (شكل ٢٧٨ : ٥) ، وبهاتين الزائدتين غدد رحيقية تفرز الرحيق الذى يتجمع فى المهماز ، ويتركب المتاع من ثلاث كرابل ملتحمة ، ويخرج من المبيض قلم ينتهى بميسم كروى يوجد على سطحه الأمامى جزء غائر (شكل ٢٧٨ : ٤) يستقبل حبوب اللقاح وتغطية زائدة تتعلق بطرفه السفلى .

وعندما تزور الحشرة زهرة البانسيه تهبط على البتلة الأمامية وتدفع بخرطومها فى المهماز لتمتص منه الرحيق ، وعند سحبه تتعلق به بعض حبوب اللقاح ، وتؤدى هذه الحركة إلى غلق الجزء المستقبل من الميسم بالزائدة التى تتعلق به ، وبذلك يتعذر التلقيح الذاتى . وإذا ما انتقلت هذه الحشرة إلى زهرة أخرى ودفعت بخرطومها لامتصاص الرحيق تتحرك الزائدة إلى الخلف ، وبذلك يتعرض الجزء المستقبل من الميسم لحبوب اللقاح العالقة بالخرطوم ، ومن ثم تتم عملية التلقيح .

(شكل ٢٧٨)

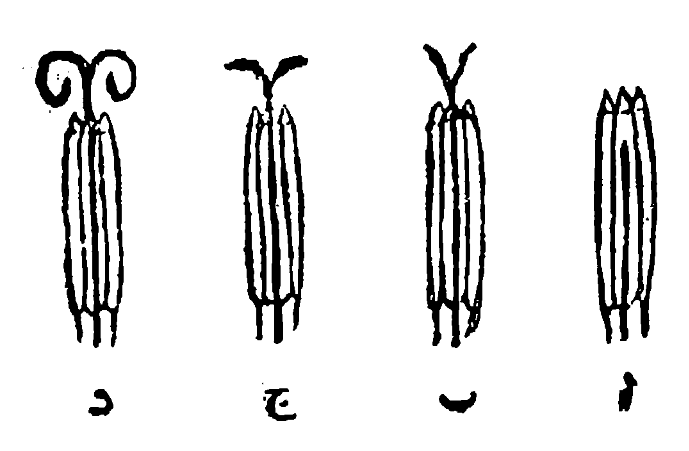


تركيب زهرة البانسيه يبين كيف تتم عملية التلقيح : (١ ، ٢) منظران خارجيان للزهرة ، (٣) الزهرة بعد نزع الكأس والتويج ، (٤) قطاع طولى فى المبيض ، (٥) قطاع طولى فى الزهرة : (ا) البتلة الأمامية ، (ب) المبيض ، (ح) الجزء المائل من الميسم الذى يستقبل حبوب اللقاح ، (ز) زائدة ناتجة من استطالة الموصل فى المتك الامامى ، (ط) الطلع ، (م) مهماز ، (ق) قلم ، (ل) زائدة تتدلى من الطرف السفلى للميسم

آلية التلقيح فى زهرة عباد الشمس : تتركب النورة فى نبات عباد الشمس من محور مفلطح تستوى عليه الزهيرات الجالسة ، وتتوسط النورة مجموعة من الزهيرات الأنبوبية أو القرصية (Disc florets) المنتظمة تحيط بهـا زهيرات شعاعية (Ray florets) وحيدة التناظر (شكل ٢٧٩) ، والزهيرات الأنبوبية خنثى — وهى التى يحدث فيها التلقيح — أما الزهيرات الشعاعية فعقيمة . وتتركب الزهيرة الأنبوبية من كأس ضامرة تمثل نتوءين صغيرين بينما يتكون التويج من خمس بتلات ملتحمة وهو أنبوبى الشكل ، ويتركب الطلع من خمس أسدية تتحد متوكها لتكون أنبوبة بينما تظل الخيوط سائبة . والمبيض سفلى يخرج عند قمته قلم ينتهى بميسمين .

ويتم نضج المتوك قبل المياسم ، وعندما تتفتح المتوك إلى الداخل تتحرر حبوب اللقاح وتتجمع فى الأنبوبة المحصورة بين المتوك ، فإذا ما استطال القلم

(شكل ٢٧٩)



رسم تخطيطى يبين خطوات نمو القلم والميسمين (ا — د) داخل الأنبوبة المتكية من الزهيرة الأنبوبية لنبات عباد الشمس أثناء التلقيح

دفع أمامه حبوب اللقاح فتبرز من الأنبوبة المتكية ، وحينئذ يسهل تعلقها بجسم الحشرة عندما تهبط على النورة ، والسطحان الخارجيان للميسمين تغطيهما شعيرات تتعلق بها حبوب اللقاح عند بروز القلم من الأنبوبة المتكية ، أما السطحان الداخليان فهما المعدان لاستقبال حبوب اللقاح ، ويكونان منطبقين عند خروج الميسمين من الأنبوبة المتكية (شكل ٢٧٩) ، وعند اكتمال نضج الميسمين ينفرجان ، وبذلك يتهيأ السطحان الداخليان لاستقبال حبوب اللقاح .

وإذا هبطت حشرة على نورة عباد الشمس فى المرحلة الأولى — التى يكون فيها الميسمان منطبقين — علقت حبوب اللقاح بجسم الحشرة ، فإذا ما انتقلت إلى نورة أخرى — وكان الميسمان منفرجين — انتقلت حبوب اللقاح إلى السطحين المستقبلين ، وبذلك تتم عملية التلقيح .

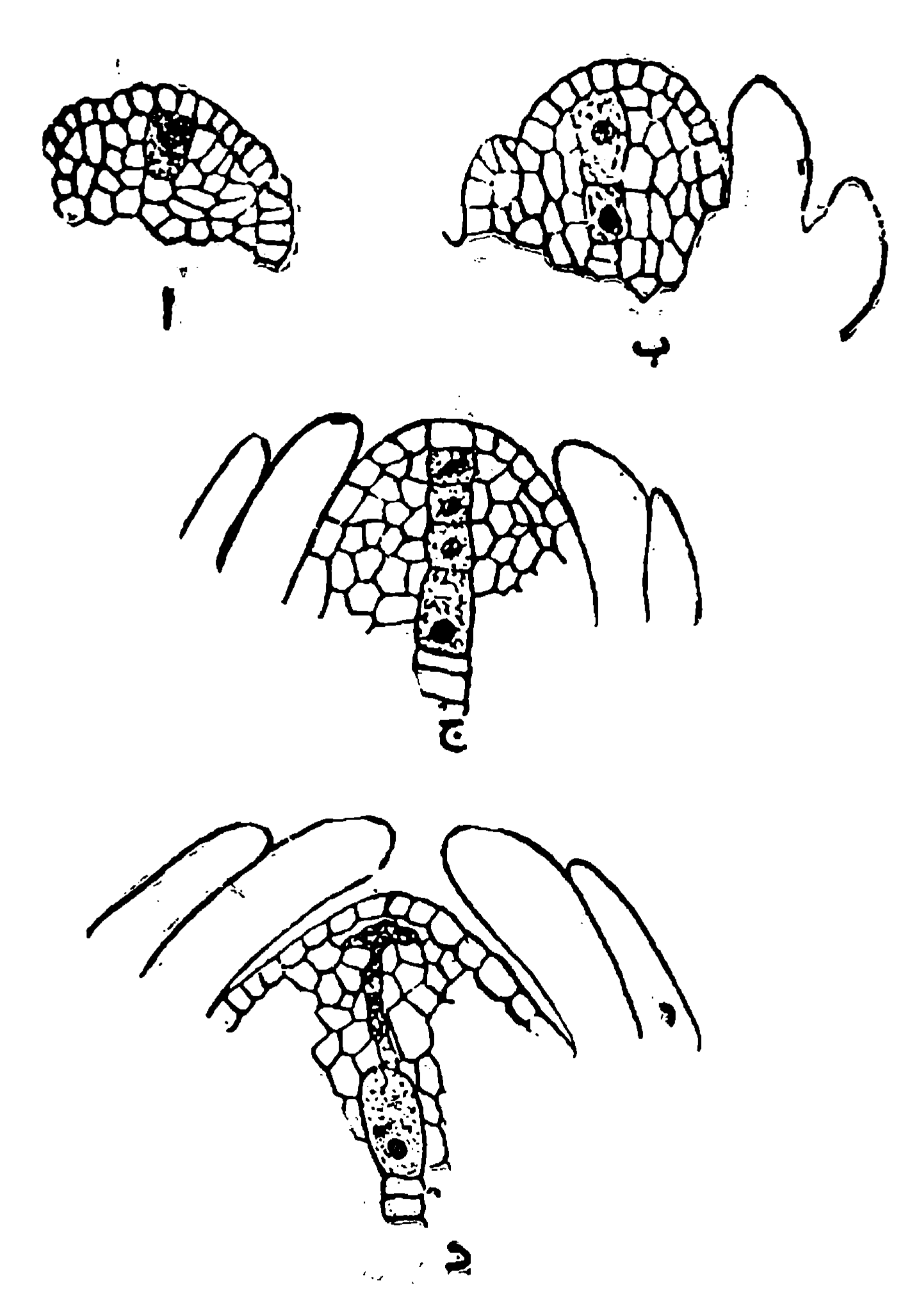
أما إذا كانت الظروف غير مهيأة للتلقيح الحشرى لجأت الأزهار إلى التلقيح الذاتى ، وذلك بأن يلتوى الميسمان وعندئذ يلامس السطحان الداخليان الشعيرات التى تقع على السطح الخارجى للميسم ، ومن ثم تنتقل حبوب اللقاح إلى السطحين المستقبلين ، فيتم التلقيح الذاتى .

تكوين الكيس الجنينى :

عند بدء تكوين البويضة تظهر النيوسيلة على هيئة نتوء من المشيمة ، يتكون من مجموعة من الخلايا المتشابهة ، وعند قاعدة هذا النتوء تظهر حلقتان نسيجيتان تنموان لتكونا الغلافين البويضيين . وتتميز خلية تحت البشرة عند قمة النيوسيلة بكبر حجمها وغزارة محتوياتها ، ويطلق عليها الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة (Megaspore mother cell) (شـكل ٢٨٠ : ا) ، وتنقسم انقسامين متتاليين — أولها انقسام اختزالى — ينتج عنه تكوين أربع خلايا تنتظم فى صف واحد (شكل ٢٨٠ : ج) ، وتكون نواة كل منها وحيدة المجموعة الصبغية ، ثم تأخذ الخلية الطرفية — المتجهة إلى داخل النيوسيلة — فى الكبر ، بينما تتحلل الثلاث الأخرى وتستنفد محتوياتها بوساطة الخلية الطرفية ، التى تعرف حينئذ بالجرثومة الـكبيرة (Megaspore) ، كما فى الشكل (٢٨٠ : د) .

ويحدث بعض التغيرات داخل الجرثومة الكبيرة ينتج عنها تكوين الكيس الجنينى ، إذ تنقسم النواة داخلها إلى نواتين ، تتحرك إحداهما إلى الطرف النقيرى بينما تتجه الأخرى إلى الطرف الكلازى (شكل ٢٨١ : ا ، ب) ، ثم تنقسم كل واحدة من هاتين النواتين مرتين ، وبذلك تتجمع عند كل طرف أربع أنوية (شكل ٢٨١ : ج) ، ويعقب ذلك انفصال نواة من كل مجموعة وتحركها نحو مركز الكيس الجنينى ، حيث تبقى النواتان — دون اندماج — حتى وقت الإخصاب (شكل ٢٨١ : د) ، وبذلك يصبح الكيس الجنينى مشتملا على ثمان أنوية ، ثم تحاط كل نواة من الأنوية الثلاث المتجمعة عند الطرف النقيرى بطبقة من السيتوبلازم وتظل عارية ، وتعرف هذه المجموعة من الخلايا باسم الجهاز البيضى (Egg apparatus) ، ويطلق على الخلية الوسطى اسم البيضة أو الخلية البيضية (Ovum or egg cell) ، بينما تعرف الخليتـان الأخريان بالخليتين المساعدتين (Synergids) — كما فى (شكل ٢٨١) — أما النواتان المركزيتان فتعرفان بالنواتين القطبيتين (Polar

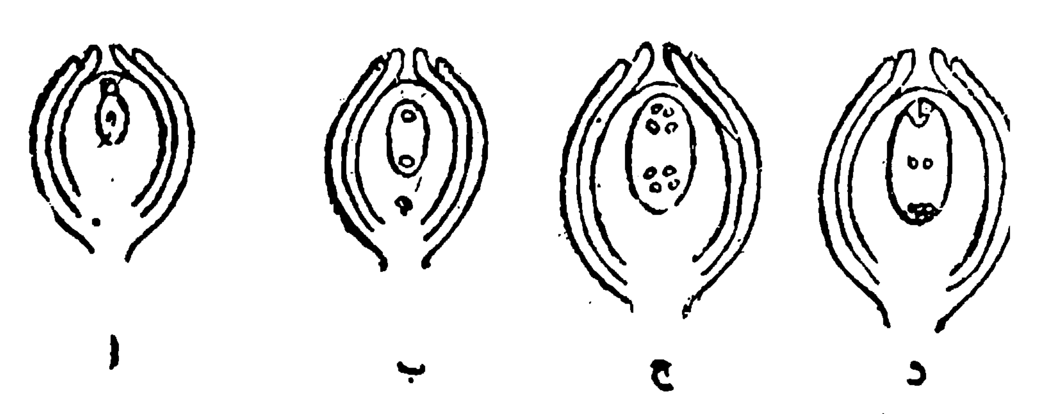
(شكل ٢٨٠)



قطاع طولى مركزى فى بويضة صغيرة لنبات القمح تبين خطوات تكوين الجرثومة الكبيرة : (ا) تميز خلية تحت البشرة إلى خلية والدة جرثومية ، (ب) انقسام الخلية الوالدة الى خليتين ، (ج) انقسام الخلية الوالدة الى أربع خلايا تنتظم فى صف واحد ، (د) تكوين الجرثومة الكبيرة من الخلية الطرفية بعد أن كبرت فى الحجم واستنفدت محتويات الخلايا الثلاث الأخرى (عن برسيفال).

(nuclei ، وعندما تندمجان يطلق على النواة الناتجة اسم نواة الإندوسبرم الابتدائية (Primary endosperm nucleus) أو النواة المحددة (Definitive nucleus) ، أما الأنوية الثلاث المتجمعة بالطرف الكلازى فتحاط كل واحدة منها بطبقة من السيتوبلازم وجدار خلوى ويطلق عليها اسم الخلايا السمتية (Antipodal cells) كما فى (شكل ٢٨١) .

(شكل ٢٨١)

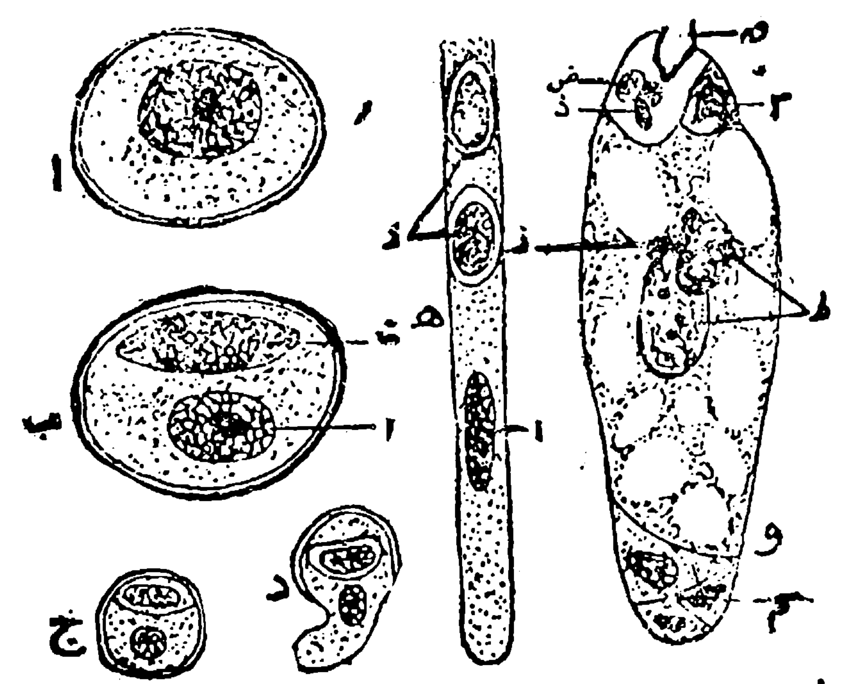


رسوم تخطيطية لقطاعات طولية فى البويضة تبين الخطوات التدريجية (ا — د) فى تكوين كيس الجنينى من الجرثومة الكبيرة .

الإخصاب :

عندما يتم تكوين الكيس الجنينى تصبح البويضة مهيأة للإخصاب (Fertilization) ، فإذا ما وقعت حبة لقاح على الميسم تبدأ فى الإنبات فتخرج منها أنبوبة اللقاح (Pollen tube) ، وتنتقل إلى نهايتها النواة الأنبوبية (شكل ٢٨٢ : د) وتليها النواة التناسلية ، التى تنقسم إلى نواتين ذكريتين (Male nuclei) —(شكل ٢٨٢ : ه) — وتنمو أنبوبة اللقاح آخذة طريقها فى القلم (شكل ٢٨٣) ، وعند وصولها إلى البويضة تتجه إلى النقير مستجيبة لجاذبية مادة تفرزها البويضة ، وتخترق النيوسيلة حتى تصل إلى الكيس الجنينى ، وعندئذ تتلاشى النواة الأنبوبية ، ثم يتمزق طرف أنبوبة اللقاح وتفرغ ما تحويه من سيتوبلازم ونواتين ذكريتين داخل الكيس الجنينى ، ثم تقترب إحدى النواتين الذكريتين من البيضة (شكل ٢٨٢ : و) ويتلاشى

(شكل ٢٨٢)



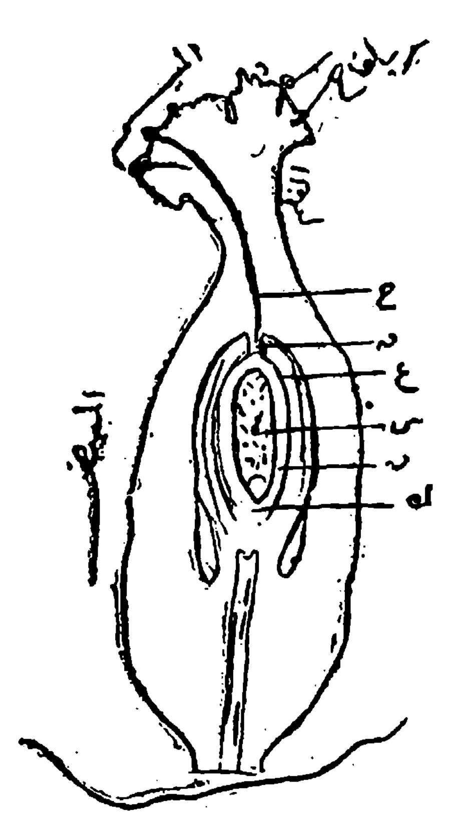
أطوار الإنبات فى حبة اللقاح وعملية الإخصاب : (ا) حبة لقاح ناضجة تحتوى على نواة واحدة ، (ب ، ج) حبتا لقاح فى طور متأخر ، وتحتوى كل منهما على النواة التناسلية والنواة الأنبوبية ، (د) طور مبكر فى تكوين أنبوبة اللقاح ، (هـ) جزء طرفى من أنبوبة اللقاح يحتوى على النواة الأنبوبية والنواتين الذكريتين ، (و) الكيس الجنينى وقت الإخصاب . (ا) النواة الأنبوبية . (ت) النواة التناسلية ، (ذ) النواة الذكرية ، (سم) خلية سمتية ، (ض) نواة بيضية ، (ط) النواتات القطبيتان ، (ق) جزء طرفى من أنبوبة اللقاح ، (م) خلية مساعدة (عن فرتش وسالسبورى) .

الجدار الذى يفصلهما ، وتتحد نواتاهما لتكونا اللاقحة ، وتصبح نواتها ثنائية المجموعة الصبغية ، ويرجع ذلك إلى احتواء كل من النواتين الذكرية والبيضية على مجموعة صبغية أحادية . وينشأ الجنين نتيجة لانقسام اللاقحة ، وفى نفس الوقت الذى تتحد فيه النواة الذكرية بنواة البيضة يتم اتحاد النواة الذكرية الأخرى بنواة الإندوسبرم الابتدائية (شكل ٢٨٢ : و) ، وتكون النواة الناتجة ثلاثية المجموعة الصبغية (Triploid) ، وينشأ الإندوسبرم نتيجة لانقسام هذه النواة . ويعد الإندوسبرم بمثابة نسيج اختزانى ، يستخدم فيما بعد لإمداد الجنين بما يحتاج إليه من مواد غذائية فى المراحل الأولى من التكوين .

تكوين الجنين :

يتكون الجنين نتيجة لانقسام اللاقحة ، إذ تنمو اللاقحة وتبدأ فى الانقسام لتنتج خليتين غير متساويتين (شكل ٢٨٤ : ا) ، الكبيرة منهما هى القاعدية ، وهى الأقرب إلى النقير وتعمل على تثبيت الجنين ، أما الصغيرة فتنقسم عـدة مرات لتكون صفاً من الخـلايا (شكل ٢٨٤ : ب) ، وتعرف الخليـة التى تقع عنـد نهاية هذا الصف — البعيدة عن النقير — بالخلية الجنينية) (Embryonic cell) ، وينشأ نتيجة لانقسامها الجنين الأصلى (Embryo proper) بينما تكون بقية الخـلايا بالاشتراك مع الخلية القاعدية المعلق (Suspensor) الذى يدفع الخليـة الجنينية فى أنسجـة الأندوسبرم. وتنقسم الخلية الجنينية فى بادىء الأمر رأسياً (شكل ٢٨٤ : ج) ثم أفقياً

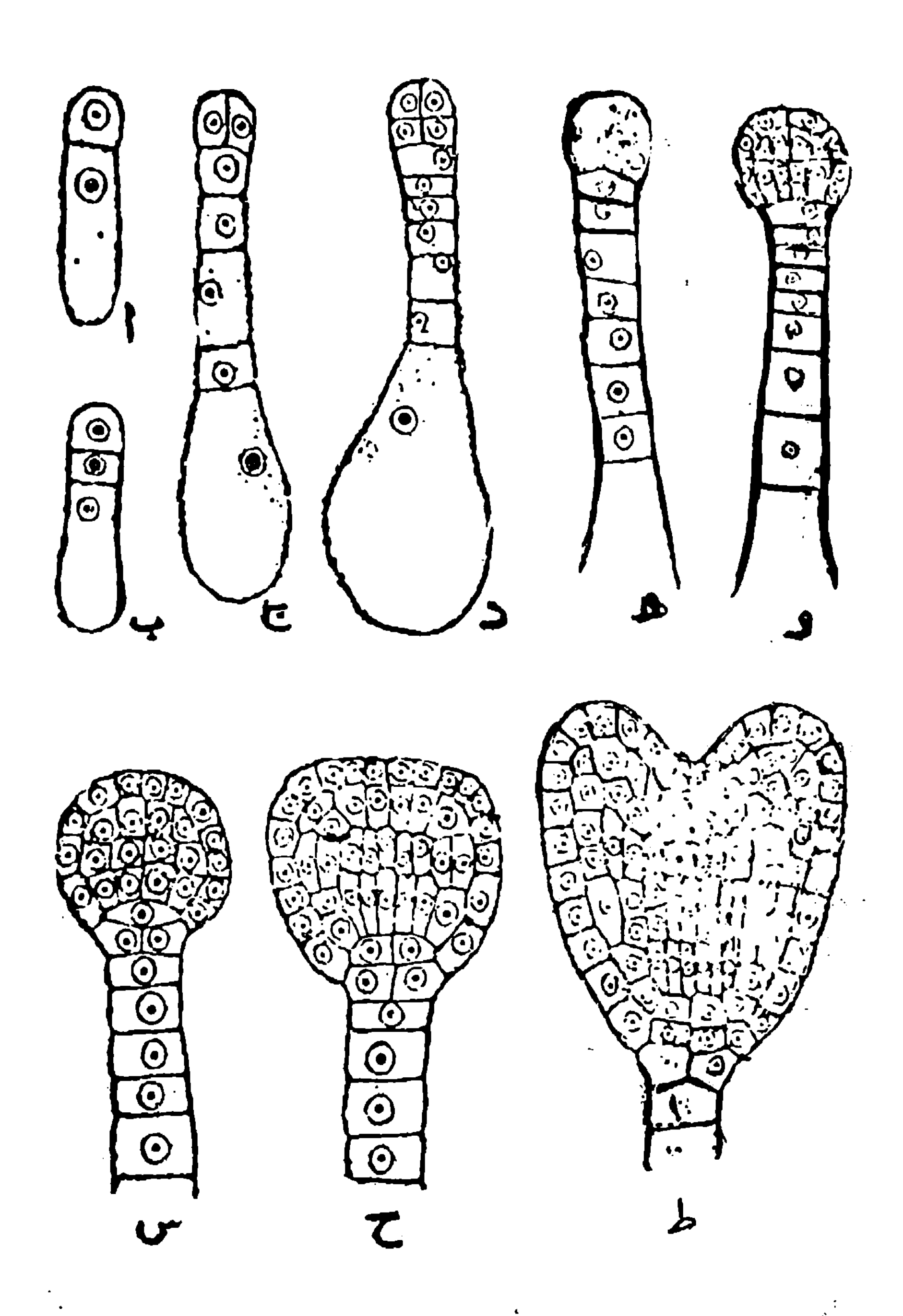
(شكل ٢٨٣)



قطاع طولى فى البويضة بين عملية الإخصاب: (ح) أنبوبة اللقاح، (س) الكيس الجنينى، (غ) الغلاف البويضى، (ق) النقير، (ك) الكلازة، (ن) الأنبوبية وترى حبوب اللقاح منتشرة على الميسم ومنها تنشأ أنابيب اللقاح (عن ستراسبرجر) .

إلى أربع خلايا (شكل ٢٨٤ : د) ويلى ذلك انقسام الخلايا بجدر محيطية مكونة ثمان خلايا (٢٨٤ : ه) وتنقسم هذه عدة مرات (شكل ٢٨٤ : و — ط) وتتميز إلى خلايا محيطية تكون فيما بعد الغلاف البشرى وخـلايا مركزية ينشأ منها النسيج الإنشائى الأساسى والكامبيوم الأولى (Procambium) .

(شكل ٢٨٤)



تكوين الجنين فى نبات ذى فلقتين : (ا) أول انقسام اللاقحة ، (ب ، ج ، د) أطوار متتالية تبين انقسام الخلية الجنينية ، (هـ) طور الجنين ذى الثمان خلايا ، (و ، س ، ح) أطوار تمثل توالى انقسام الخلايا الجنينية ، (ط) طور تتميز فيه الفلقتان (عن هويت)

وتتميز الخلايا العليا البعيدة عن النقير إلى فصين — يمثلان الفلقتين فى نباتات ذوات الفلقتين— حيث يوجد بينهما تجويف تخرج منه الريشة فيما بعد . أما الخلايا السفلية القريبة من النقير فينشأ منها الجذير والسويقة تحت الفلقية .

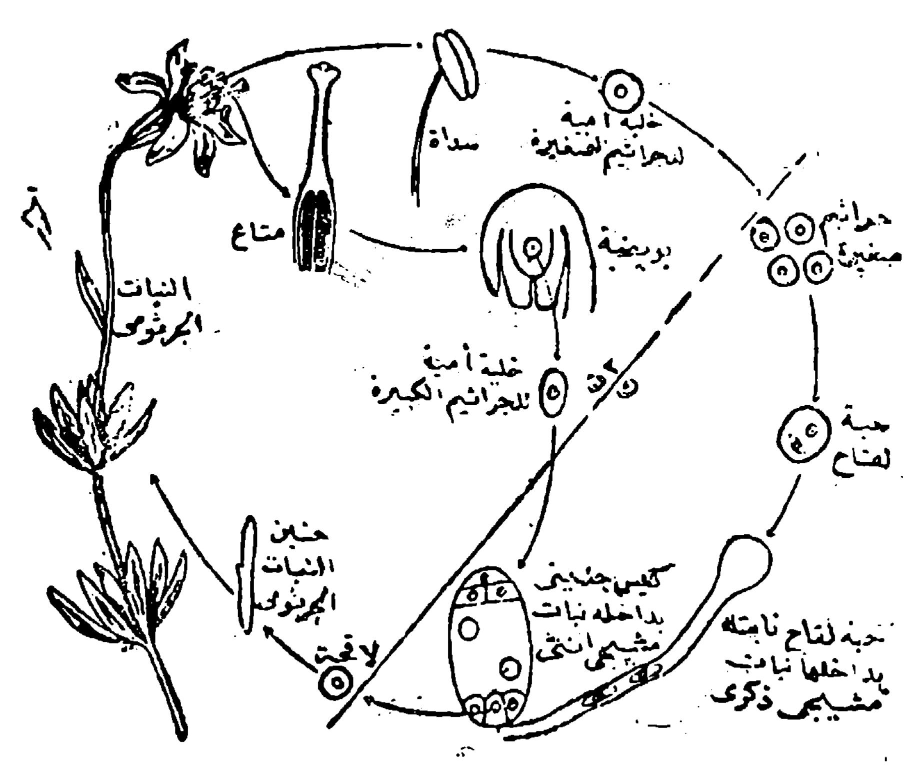
وتنقسم نواة الإندوسبرم — بعد عملية الإخصاب بفترة وجيزة — انقساما سريعاً متوالياً ، يعقبه تكوين جدر تغلف الأنوية وما يحيط بها من سيتوبلازم، وبذلك يتكون نسيج الإندوسبرم . وهذا النسيج إما أن يبقى خارج الجنين فيشغل جزءاً من البذرة — يختلف حجمه فى بذور النباتات المختلفة — وعندئذ توصف البذرة بأنها إندوسبرمية ؛ أو يستنفد أثناء تكوين الجنين ويختزن داخل الفلقات ، وتوصف البذرة حينئذ بأنها غير إندوسبرمية .

ويتركب الجنين فى النباتات ذوات الفلقتين من فلقتين تحصران بينهما الريشة ، بينما يوجد الجذير فى الطرف المقابل للنقير ، أما فى بذور ذوات الفلقة الواحدة فيتركب الجنين من فلقة واحدة تقع على الجانب الملاصق للإندوسبرم ، ويحيط بكل من الجذير والريشة غمد .

وبعد عملية الإخصاب تختفى الخلايا المساعدة والخلايا السميتية ، ويستنفد الجنين أثناء تكوينه الجزء الباقى من النيوسيلة ، ثم يتصلب الغلافان البويضيان ليكونا القصرة ، ومن ثم يتم تكوين البذرة .

وإذا تتبعنا دورة الحياة فى نبات من كاسيات البذرة (شكل ٢٨٥) نلاحظ تميزها إلى طورين : جرثومى ومشيجى ، فهى تشبه من هذه الناحية دورة الحياة فى نبات الصنوبر والنباتات السرخسية والحزازية ، ولكن تختلف عنها فى ضآلة حجم النبات المشيجى إلى درجة كبيرة يستحيل معها رؤيته بالعين المجردة ، بينما يصل النبات الجرثومى إلى حجم كبير ودرجة متقدمة من التخصص والتعضى والتعقيد فى تركيبه .

(شكل ٢٨٥)



ملخص دورة حياة نبات من كاسيات البذور . جميع خلايا التراكيب والأعضاء الواقعة أعلى الخط المائل ثنائية المجموعة الصبغية (٢ ن) ، أما تلك الواقعة تحته فأحادية المجموعة الصبغية (ن) . (عن روبنز وريكث) .

(الثمـــار)

عند انتهاء عملية الإخصاب ، تطرأ على الكيس الجنيني تغيرات تؤدى إلى تكوين البذرة ، ويتبع ذلك تضخم المبيض ، وقد تتعدى التغيرات المبيض إلى الأجزاء الأخرى من الزهرة ، وينتج عن ذلك تكوين الثمرة (Fruit) . وقد يشترك التخت في تكوين الثمرة كما فى التفاح (Pyrus malus) ، أما الأجزاء الأخرى - مثل السبلات والبتلات والأسدية - فهى عادة تأخذ فى الذبول ثم تسقط عند تكوين الثمار ، ولكن تشذ ثمار بعض النباتات عن هذه القاعدة ، فمثلاً فى ثمار الباذنجان (Solanum melongena) يظل الكأس باقياً بعد تكوين الثمرة . وفى ثمرة القرع (Cucurbita sp.) تستديم البتلات ، وفى ثمرة الرمان (Punica sp.) تبقى الأسدية متصلة بالثمرة بعد تكوينها .

وتتميز البذرة عن الثمرة بوجود ندبة واحدة فى الأولى هى السرة ، بينما توجد على الثمرة ندبتان . إحداهما تمثل موضع اتصالها السابق بالنبات والأخرى تمثل بقايا القلم .

وتنقسم الثمار إلى عدة أنواع ، وهناك عدة أسس للتقسيم منها :

(أولا) تكوين الثمرة إما من المبيض فقط أو بالاشتراك مع أجزاء الزهرة الأخرى مثل التخت ، فالثمار التى من النوع الأول تعتبر صادقة (True) ، أما التى من النوع الآخر فتعرف بالثمار الكاذبة (Pseudocarps or false fruits) .

(ثانياً) تكوين الثمار من زهرة واحدة أو من نورة ، فالنوع الأول يوصف بالثمـــار البسيطة (Simple fruits) والثانى بالثمار المركبة (Multiple or Composite fruits) أما الثمرة التى تنشأ من زهرة واحدة سائبة الكرابل فتعرف بالثمرة المتجمعة (Aggregate fruit) .

ويمكن تقسيم الثمار على النحو الآتى :

الثمار البسيطة :

تنشأ هذه الثمار إما من متاع ذى كربلة واحدة وإما من عدد من الكرابل الملتحمة ، وتتميز إلى نوعين : (أولا (الثمار الجافة (Dry fruits) و (ثانياً) الثمار الطارية (Succulent fruits) .

(أولا) الثمار الجافة :

فى هذه الثمار يكون الجدار جافا ، رقيقاً أو سميكا أو خشبياً ، وتتميز إلى الأنواع الآتية :

(أ) الثمار الجافة غير المتفتحة (Indehiscent) : وهى التى يظل جدارها مغلقاً ، ولا تتحرر البذور إلا بعد انحلال جدار الثمرة .

(ب) الثمار الجافة المتفتحة (Dehiscent) : وفيها يتفتح الجدار بطرق شتى لتتحرر البذرة .

(ج) الثمار المنشقة (Schizocarpic) : وفيها تنشق الثمار إلى عدد من الثمار الجزئية (Mericarps) ، وتظل مقفلة غالباً ، وتحتوى كل منها على بذرة واحدة .

١ — **الثمار الجافة غير المتفتحة** : وتشمل هذه الثمار عدة طرز هى :

١ — **الفقيرة** (Achene) — (شكل ٢٨٦ : ا) — وتتركب من كربلة واحدة تحتوى على بذرة واحدة . وغلافها غشائى أو جلدى ولا يلتحم بقصرة البذرة ، وعادة تكون الثمرة ناتجة من إحدى كرابل متاع يتكون من عدة كرابل منفصلة كما فى الورد .

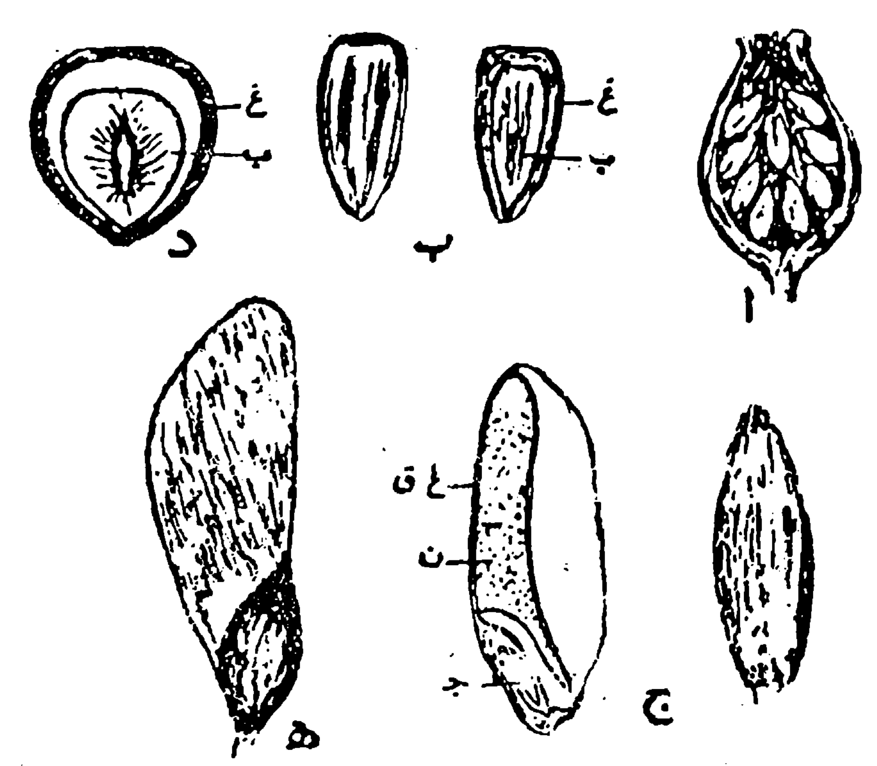
٢ — **السبسلاء** (Cypsela) — (شكل ٢٨٦ : ب) — تتركب من كربلتين ملتحمتين لمبيضهما غرفة واحدة تحتوى على بذرة واحدة ، وجدار الثمرة غير ملتحم مع قصرة البذرة ، كما فى ثمار الفصيلة المركبة ، مثل عباد الشمس .

٣ — **البرة** (Caryopsis) — (شكل ٢٨٦ : ج) — وهى تشبه الفقيرة إلا أن الغلاف فيها ملتحم مع قصرة البذرة ، كما فى القمح **(Triticum)** .

٤ – البندقة (Nut) – (شكل ٢٨٦ : د) – تتركب من كربلتين أو
ث كرابل ملتحمة ، والمبيض ذو غرفة واحدة تحتوى على بذرة واحدة
غلاف الثمرة خشبي ، كما فى البندق **(Corylus)** .

٥ – الجناحية (Samara) – (شكل ٢٨٦ : هـ) – وهى تشبه الثمرة
قيرة ، إلا أن غلافها يمتد على هيئة زوائد تشبه الأجنحة ، كما فى ثمرة أبى
كارم **(Machaerium tipa)**.

(شكل ٢٨٦)

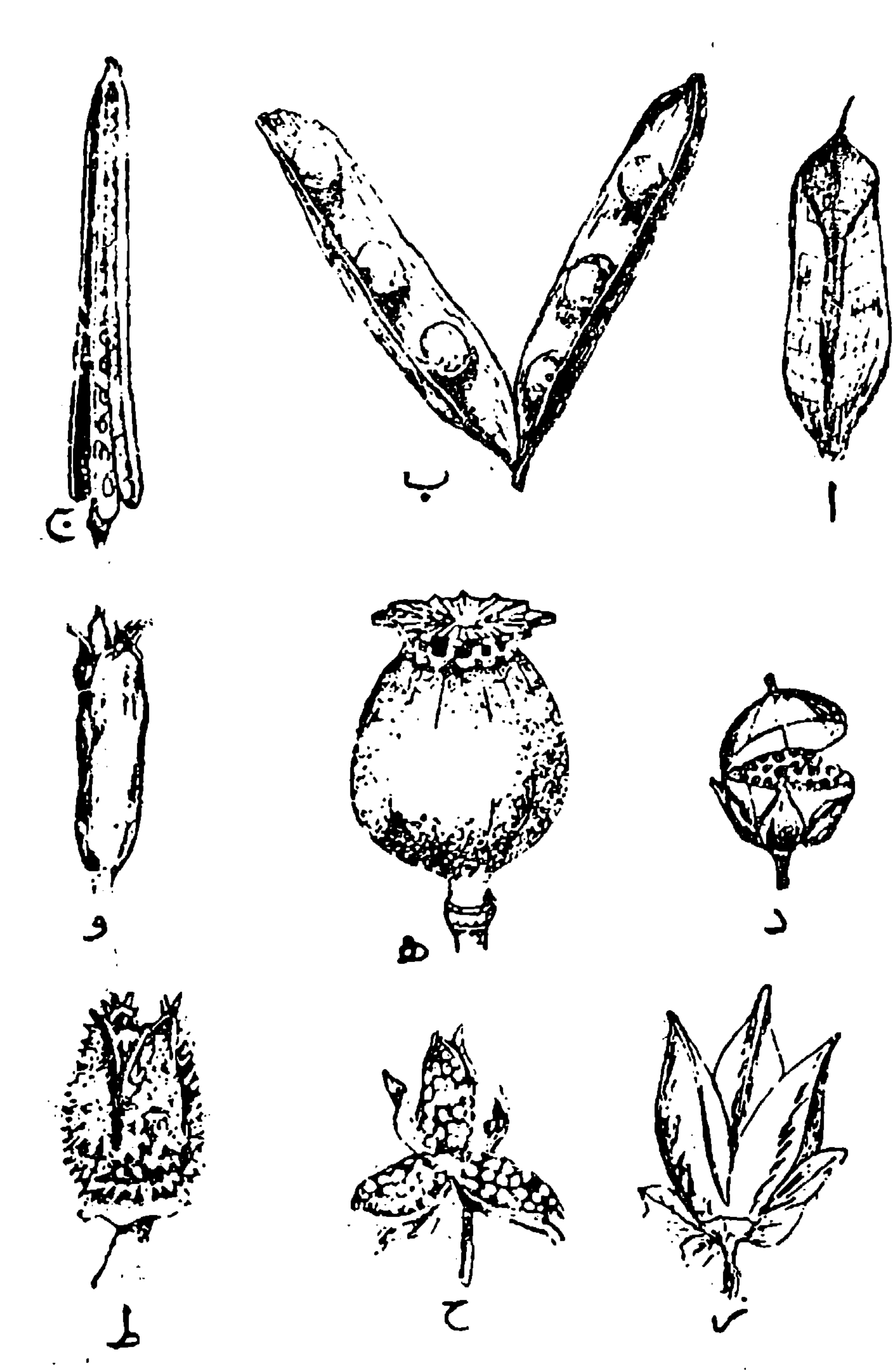


الثمار الجافة غير المتفتحة: (ا) ثمرة الورد وهى مجموعة ثمار فقيرة، (ب) إلى اليسار ثمرة بلد الشمس السبلاء وإلى اليمين قطاع طولى مركزى فى نفس الثمرة ، (د) قطاع طولى ركزى فى البندقة، (هـ) ثمرة أبى المكارم الجناحية، (ب) بذرة ، (جـ) الجنين ، (غ) غلاف ثمرة ، (غ . ق) غلافا الثمرة والقصرة متحدين ، (ن) إندوسبرم .

(ب) الثمار الجافة المتفتحة : فى هذه الثمار يتفتح الجدار بطرق شتى ، تبعا لطريقة التفتح يمكن تقسيمها إلى الأنواع الآتية :

١ – الجرابية (Follicle) – (شكل ٢٨٧ : ا) – وتنشأ من كربلة احدة ، وتتفتح على طول الطراز البطنى (Ventral suture) فقط كما فى ثمار العايق **(Delphinium)** .

(شكل ٢٨٧)



الثمار الجافة المتفتحة (ا) ثمرة العايق الجرابية، (ب) ثمرة الفول القرنية، (ج) ثمرة المنثور الخردلة، (د) ثمرة عين القط، وهي ثمرة تتفتح أفقيا على امتداد خط دائرى، (هـ) ثمرة الخشخاش وهي علبة تتفتح بثقوب، (و) ثمرة [illegible] وهي علبة تتفتح بالأسنان (ز) ثمرة القطن وهي علبة انفتاحها مسكنى، (ح) ثمرة البنفسج، وهي علبة انفتاحها حاجزى، (ط) ثمرة الداتورة وهي علبة انفتاحها مصامى.

٢ - **القرنة أو البقلاء** (Legume) - (شكل ٢٨٧ : ب)- تتكون من كربلة واحدة ، وتتفتح على طول الطرزين الظهرى (Dorsal) والبطنى (Ventral) ، وبذلك ينشق جدار الثمرة إلى مصراعين متصلين من أسفل ، كما فى ثمار الفول والبازلاء .

٣ - **الخردلة** (Siliqua) - (شكل ٢٨٧ : ج) - تتركب من كربلتين يفصلهما حاجز كاذب ، وينفصل الجدار من أسفل إلى أعلى تاركا الحاجز الكاذب كما فى ثمرة نبات المنثور (Matthiola) ، وتكون الخردلة عادة طويلة وضيقة ، أما إذا كانت الثمرة قصيرة ومفلطحة فيطلق عليها الخريدلة (Silicula) ، كما فى ثمرة نبات كيس الراعى (Capsella bursa-pastoris) .

٤ - **العلبة** (Capsule) تتكون عادة من كربلتين أو أكثر ، وتبعاً لطريقة الانفتاح يمكن تقسيم العلبة إلى الأنواع الآتية :

• علبة تتفتح على امتداد خط دائرى يقع فى منتصف المبيض تقريبا - (شكل ٢٨٧ : د) - وبذلك ينفصل النصف العلوى من الجدار على هيئة غطاء ، كما فى ثمار نبات عين القط (Anagallis) .

• علبة تتفتح بوساطة ثقوب عند قمة الكرابل (شكل ٢٨٧ : هـ) - وتنشأ هذه الثقوب نتيجة للانفصال الجزئى للمياسم عند نضجها ، كما فى ثمار نبات الخشخاش (Papaver) .

• علبة تتفتح بوساطة أسنان - (شكل ٢٨٧ : و) - تنشأ نتيجة للانفصال الجزئى للكرابل ، كما فى ثمرة القرنفل (Dianthus) .

• علبة تتفتح طولياً على إمتداد الطراز الظهرى للكربلة (شكل ٢٨٧ : ز) وتبقى البذور ملتصقة بالمحور المركزى ، ويعرف هذا الانفتاح بالمسكنى (Loculicidal) ، كما فى ثمرة القطن .

• علبة تتفتح طولياً ، وذلك بانشقاق الحواجز التى تفصل المساكن (شكل ٢٨٧ : ح) ، ويعرف هذا الانفصال بالحاجزى (Septicidal) ، كما فى ثمرة نبات البنفسج (Viola)

• غلبة تتفتح طولياً بزوال الحواجز -(شكل ٢٨٧ : ط)- بدلا من انشقاقها كما فى النوع السابق ، وبذلك تفقد اتصالها بالجدر الخارجية للكرابل ويعرف هذا الانتفاح بالصمامى (Septifragal) ، كما فى نبات الداتورة (**Datura**) .

(ج) الثمـــار المنشقة

(**Schizocarpic**) : وهى ثمار جافة ، وتتركب كل ثمرة من أكثر من كربلة واحدة ملتحمة مع بعضها البعض. ولكنها لاتلبث أن تنشق بعد نضجها إلى عدد من الثمار الجـــزئية (Mericarps) غير المتفتحة وحيدة البذرة. مثل ثمـــرة الخطمية (**Althaea**) (شكل ٢٨٨ : ا) وثمار الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) مثل اليانسون (**Pimpinella anisum**) كما فى شكل (٢٨٨ : ب) .

(شكل ٢٨٨)

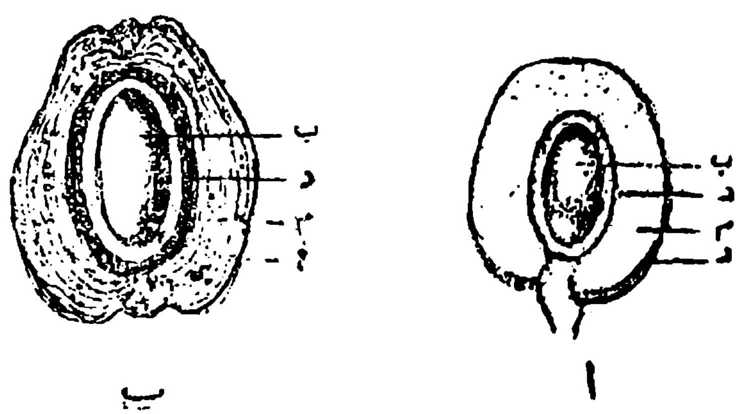
الثمار المنشقة (ا) ثمرة الخطمية وبأسفلها ثمرة جزئية ، (ب) ثمرة اليانسون

(ثانياً) الثمار الطرية :

هذه الثمار غير متفتحة ، وتمتاز بجدرها اللينة التى تصبح شحمية سميكة عند تمام نضجها ، ويتميز الغلاف الثمرى فيها إلى ثلاث طبقات ؛ وهناك ثلاثة أنواع من هذه الثمار .

١ - **الحسلية** (Drupe) : يتميز فيها الغلاف الثمرى إلى طبقة خارجية (Epicarp) جلـــدية وطبقة وسطى (Mesocarp) لحمية مليئة بالعصارة وطبقة داخلية (Endocarp) صلبة تحتوى على بذرة واحدة ، كما فى ثمار نبات البرقوق (**Prunus domestica**) والمشمش (**Prunus armeniaca**) - (شكل ٢٨٩ : ا) - وتكون الطبقة الوسطى ليفية فى بعض الثمار الحسلية مثل جوز الهند والدوم (**Hyphaene thebaica**) كما فى (شكل ٢٨٩ : ب) .

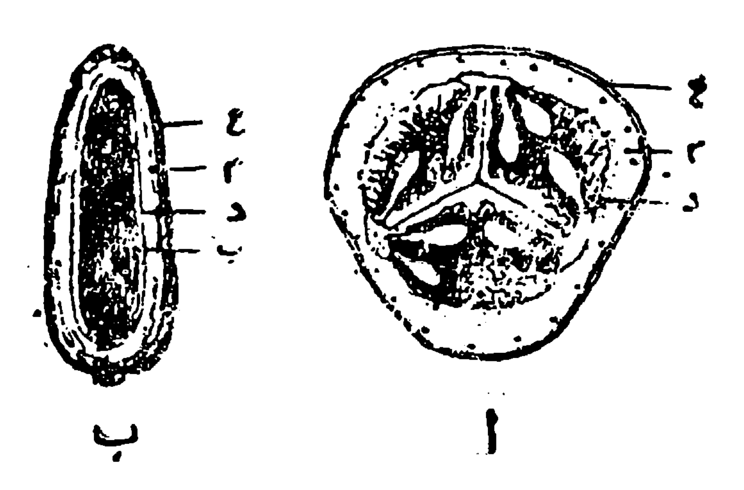
(شكل ٢٨٩)



الثمار الطرية الحسلية : (ا) قطاع طولى فى ثمرة المشمش ، (ب) قطاع طولى فى ثمرة دوم . (ب) بذرة ، (خ) الطبقة الخارجية من الغلاف الثمرى (د) الطبقة الداخلية من ذلك الغلاف ، (م) الطبقة الوسطى

٢ — اللبية (Berry) تختلف هذه الثمرة عن سابقتها فى عدم تخشب الطبقة الداخلية وبقاء الجدار بطبقاته الثلاث طريا ، كما فى ثمار نباتات الطماطم (Solanum lycopersicum) والعنب (Vitis) والخيــار (Cucumis sativus) كما فى شكل (٢٩٠ : ا) . وفى ثمرة البلح (شكل ٢٩٠ : ب) تمثل الطبقة الداخلية غشاء رقيق يحيط بالبذرة .

(شكل ٢٩٠)

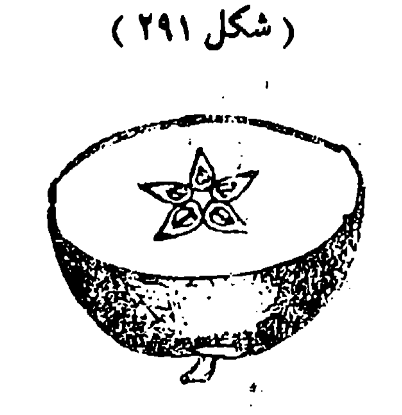


الثمار الطرية لبية ، ويرى إلى اليمين قطاع مستعرض فى ثمرة الخيار وإلى اليسار قطاع طولى فى ثمرة البلح . (ب) بذرة ، (خ) الطبقة الخارجية من الغلاف الثمرى ، (د) الطبقة الداخلية منه ، (م) الطبقة الوسطى .

٣ — الثمرة التفاحية (Pome) :

فى هـــذه الثمرة يتضخم التخت ، ويشغل معظم جسم الثمرة ، وينحصر الجدار الحقيقى النـــاتج عن جدار المبيض فى جزء صغير يتوسط الثمرة ويحيط بالبذور ، كما فى ثمرة التفاح (Pyrus malus) — (شكل ٢٩١) — والكمثرى (Pyrus communis) ، وتعتبر الثمرة التفاحية كاذبة لأن الجزء الرئيسى منها هو التخت المتضخم ، وهو الجزء الذى يؤكل .

(شكل ٢٩١)



الثمرة التفاحية : قطاع مستعرض فى ثمرة التفاح

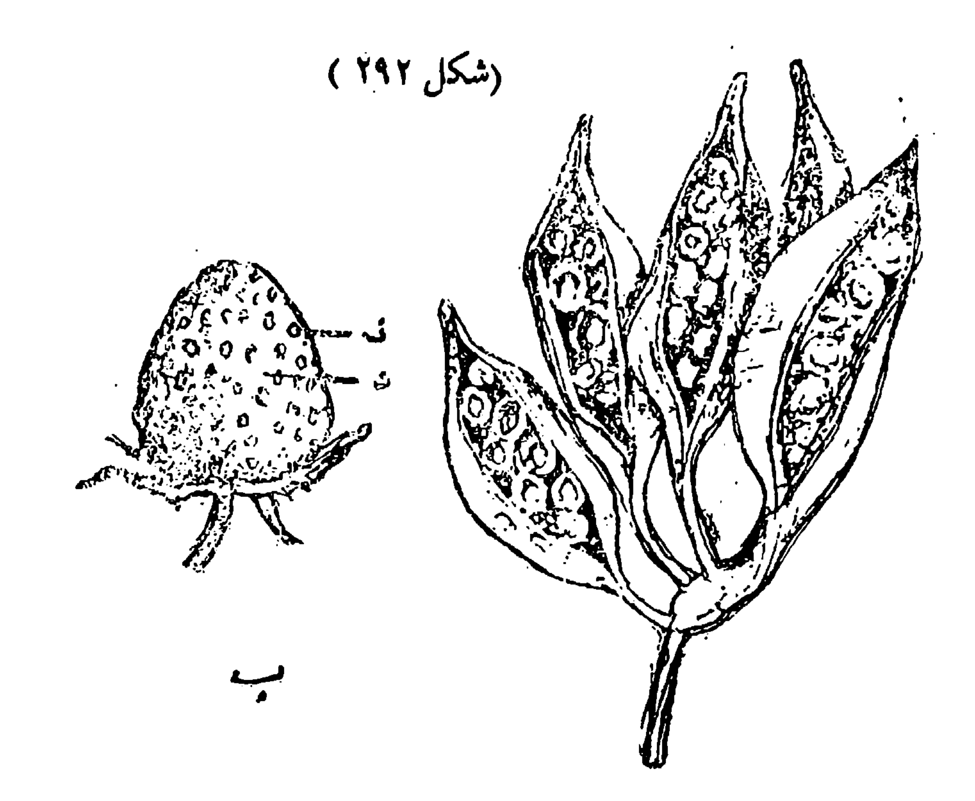
الثمار المتجمعة :

تنشأ الثمرة المتجمعة (Aggregate fruit) من متـــاع ذى كرابل سائبة ولذلك فهى تتركب من عدد من الوحدات المتجمعة تنتمى إلى زهرة واحدة وهذه الوحدات إما أن تكون ثماراً فقيرة متجمعة على تخت متضخم مثل ثمرة نبـــات الشليك (Fragaria) (شكل ٢٩٢ : ب) وإما أن تكون ثمـــاراً جرابية متصلة ببعضها البعض كما فى ثمرة نبات بودرة العفريت (Sterculia) كما فى (شكل ٢٩٢ : ا) .

الثمار المركبة :

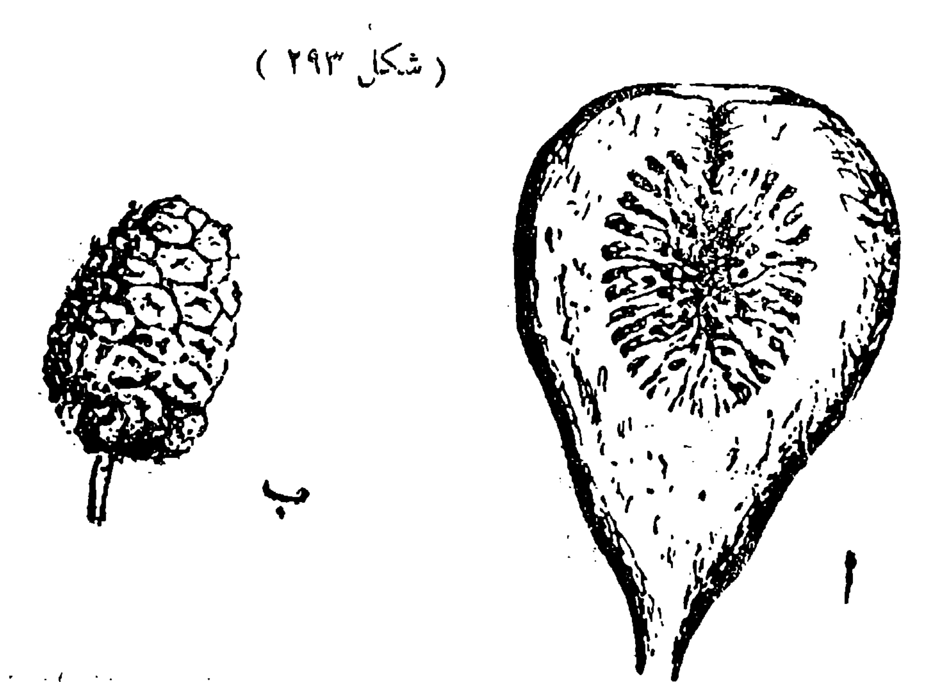
فى هذا النوع من الثمار تشترك مجموعة من الأزهار أو النورة فى تكوين الثمـــرة ، فمثلا تتركب ثمرة نبات التين البرشومى (Ficus carica) — (شكل ٢٩٣ : ا) — من شمراخ شحمى مجوف تبطنه مجموعة من الأزهار الذكرية والأنثوية . وتوجد الأولى فى المنطقة العليا القريبة من الفتحة والثانية مبطنة لبقية التجويف ، والجزء الذى يؤكل يمثل الشمراخ المتشحم . أما فى التوت (Morus) فتوجد أزهار ذكرية وأخرى أنثوية فى نورات منفصلة . والنورة التى تحمل الأزهار الأنثوية تبدو كثيفة نظراً لتزاحم الأزهار بها ، وتعطى

(شكل ٢٩٢)



الثمار المتجمعة : (أ) ثمرة بوديرة العقربت وفيها الوحدات جرابية ، (ب) ثمرة الشليك وفيها الوحدات فقيرة (ث) التخت ، (ب) ثمرة فقيرة .

(شكل ٢٩٣)



الثمار المركبة : (ا) قطاع طولى فى ثمرة التين البرشومى ، (ب) منظر خارجى لثمرة التوت .

كل زهرة ثمرة (بنيدقة Notlet) محاطة بالغلاف الزهرى الذى يصبح غليظا وعصيريا ، وبنمو هذه الثمرات تزداد فى تزاحمها وتلتحم مع بعضها البعض مكونة الثمرة المركبة (شكل ٢٩٣ : ب) .

الثمار الكاذبة :

إذا اشتركت أجزاء أخرى غير المبيض فى تكوين الثمار سميت تلك الثمار كاذبة ، ففى ثمرة التفاح والكمثرى يتضخم التخت ويكون معظم الثمرة ، بينما ينحصر المبيض فى جزء ضئيل من الثمرة ، وتعتبر ثمرة الشليك ثمرة كاذبة أيضاً ، وذلك لتضخم التخت الذى يحمل مجموعة من الثمار الفقيرة الدقيقة . وكذلك يمكن إعتبار ثمرة التين ثمرة كاذبة ، وذلك لأن الجزء الأكبر من الثمرة هو عبارة عن الشمراخ الشحمى ، أما فى ثمرة التوت فنظراً لتغلظ الغلاف الزهرى وتكوينه لمعظم الثمرة فتعتبر ثمرة كاذبة .

(إنتشار الثمار والبذور) :

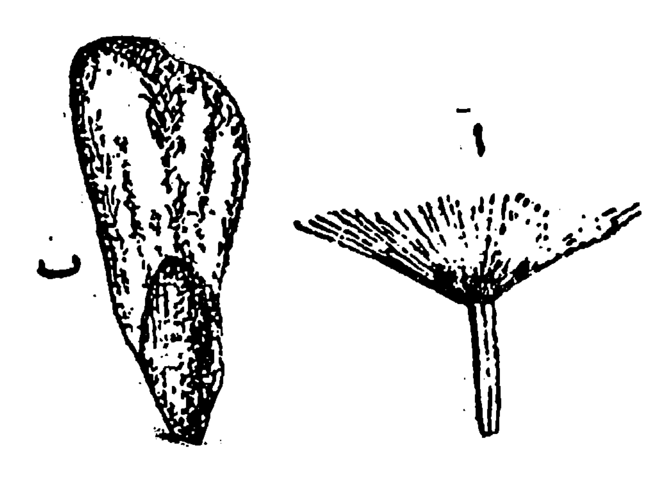
تنتج النباتات عدداً وفيراً من الثمار والبذور ، فإذا سقطت هذه بالقرب من النباتات المنتجة لها — وكانت الظروف مهيأة للإنبات — نشأت النباتات الجديدة متزاحمة الجذور والسيقان ، وعندئذ لا يتمكن كل نبات من الحصول على ما يلزمه من ضوء أو ماء أو غذاء ، ويزداد التنافس بين النباتات ، وذلك لأن ماتحتاج إليه يفوق ماتشتمل عليه هذه المساحة المحدودة من ماء وغذاء ، ويترتب على ذلك ضعف النباتات مما قد يؤدى إلى انقراضها . ولكى تتحاشى النباتات قسوة التنافس للمحافظة على جنسها تميزت ثمارها وبذورها ببعض الخصائص التى تساعد على حملها بوساطة الرياح أو الحيوان أو الماء ، وبذلك تنتشر النباتات بعيدة عن بعضها . لتستوفى احتياجاتها من ماء وغذاء دون تنافس . وهناك بعض نباتات لها ثمار تتفتح بطرق ميكانيكية ينتج عنها انتشار البذور بعيداً عن النبات .

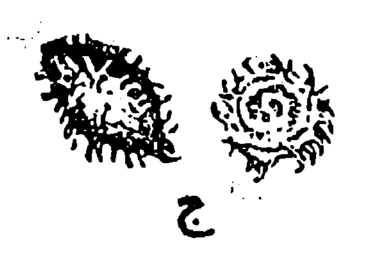
الانتشار بوساطة الرياح : تنفرد الثمار والبذور التى تنتشر بوساطة الرياح ببعض صفات تساعدها على سهولة الحركة ، ومن بين هذه الصفات صغر

الحجم وخفة الوزن ، كما فى بذور الأراشيد (Orchids) . وفى ثمار بعض النباتات — مثل أبى المكارم (شكل ٢٩٤ : ب) — يمتد غلاف الثمرة ويأخذ شكل الجناح ، وفى ثمرة الحميض يظهر الكأس على هيئة أجنحة . ومن الصفات الأخرى التى تساعد على الانتشار بوساطة الرياح وجود شعيرات على البذور أو الثمار ، ففى بذور القطن تمتد خلايا القصرة الخارجية لتكوين شعيرات ، وفى ثمار الفصيلة المركبة — مثل ثمرة الجعضيض **(Sonchus)** (شكل ٢٩٤ : ا) — يمثل الكأس عدد من الشعيرات أو الزغب الذى يوجد أعلى المبيض .

وفى نبات الخشخاش **(Papaver)** تكون الثمرة محمولة على حامل مرن يتحرك جيئة وذهاباً بتأثير الرياح ؛ وفى أثناء هذه الحركة تنطلق البذور خلال الثقوب التى توجد بأعلى الثمرة .

(شكل ٢٩٤)





انتشار الثمار : (ا) ثمرة الجعضيض ؛ (ب) ثمرة أبى المكارم ، (ج) ثمرة الشبيط إلى اليسار والبرسيم الحجازى إلى اليمين .

الانتشار بوساطة الحيوان : تمتاز الثمار التى تنتشر بوساطة الحيوان بألوانها الجذابة وغلافها الشحمى ، وتكون بذورها مصونة إما بطبقة صلبة تمثل الطبقة الداخلية لغلاف الثمرة كما فى الثمار الحسلية أو بقشرة صلبة كما فى الثمار اللبية ، ولذلك لاتصاب هذه البذور بضرر إذا ما التقطتها الطيور والحيوانات الأخرى ومرت فى قناتها الهضمية حيث تفرز المواد الحمضية. وعندما تلفظ هذه البذور خارج جسم الحيوان مع البراز تنبت عندما تتوافر لها الشروط الملائمة . وفى نبات الدبق (Viscum) يكون الجزء الطرى من الثمرة لزجا ، فعندما تتغذى عليه الطيور تتعلق البذور بمنقارها ، وعندما تحاول التخلص منها تحك منقارها فى فرع شجرة تنتقل البذور إليه حيث تنبت عندما تتهيأ لها الظروف الملائمة .

وهناك نوع آخر من الثمار – التى تنتشر بوساطة الحيوان – تتميز بوجود أشواك أو خطافات على سطحها مما يسهل تعلقها بفراء الحيوان أو بريش الطيور . ومن أمثلتها ثمـار الشبيط (Xanthium) والـبرسيم الحجازى (Medicago sativa) – (شكل ٢٩٤ : ج) – والست المستحية (Mimosa) .

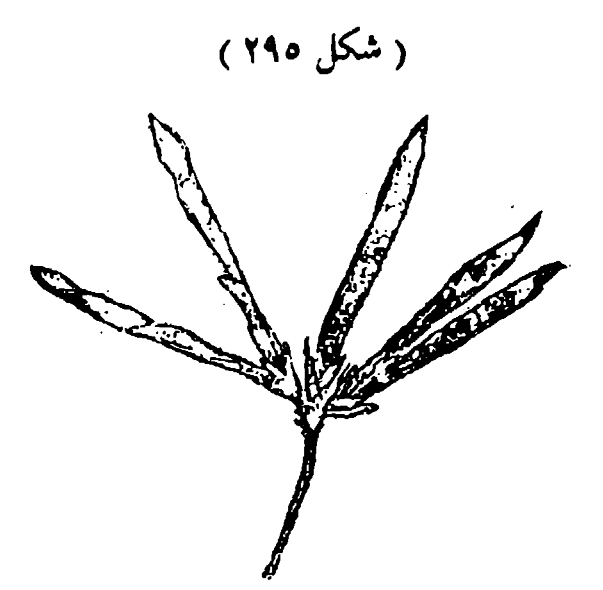
وعندما تسير الحيوانات على الطين تتعلق بأقدامها بعض البذور والثمار ، وبذلك تنقلها من مكان إلى آخر . ويقوم النمل بنصيب فى نقل بذور بعض النباتات العشبية لمسافات محدودة ، وتكون لهذه البذور عادة بسباسة (Aril) تجذب النمل .

ويلعب الإنسان دوراً هاماً فى نقل البذور ، وذلك باستيرادها من بلدان بعيدة لأغراضه الزراعية والاقتصادية .

الانتشار بوساطة الماء : تقوم المياه الجارية فى الأنهار والقنوات بنقل ثمار وبذور بعض النباتات من مكان لآخر ، وكذلك تجرف مياه السيول والأمطار الثمار وبذور النباتات الصحراوية ، وتحملها من منطقة إلى أخرى . وتمتاز الثمار والبذور التى تنتشر بوساطة الماء بقدرتها على الطفو ، وذلك لخفة وزنها أو لاحتوائها على فراغات هوائية ، كما تمتاز أيضاً بعدم انفاذ جدرها للماء وتتمثل هذه الصفات فى ثمار جوز الهند ، إذ يتركب الجدار فيها من

غلاف خارجى غير منفذ للماء وغلاف وسطى ليفى خفيف جداً - لاحتوائه على فجوات هوائية - وغلاف داخلى خشبى صلب ، وتحتوى الثمرة على بذرة لها إندوسبرم بداخله فراغ كبير يشغل الهواء معظمه .

(شكل ٢٩٥)



الانتشار الميكانيكى فى ثمار بسلة الزهور

الانتشار الميكانيكى :

هناك ثمار تتفتح بقوة عندما يتم نضجها وجفافها وتقذف بالبذور إلى مسافات بعيدة ففى الثمار الناضجة لبعض نباتات الفصيلة القرنية كبسلة الزهور (شكل ٢٩٥) - وهى ثمار قرنية تنشق الجدر طولياً من الطرزين البطنى والظهرى ، ثم يلتف مصراعا الثمرة التفافاً

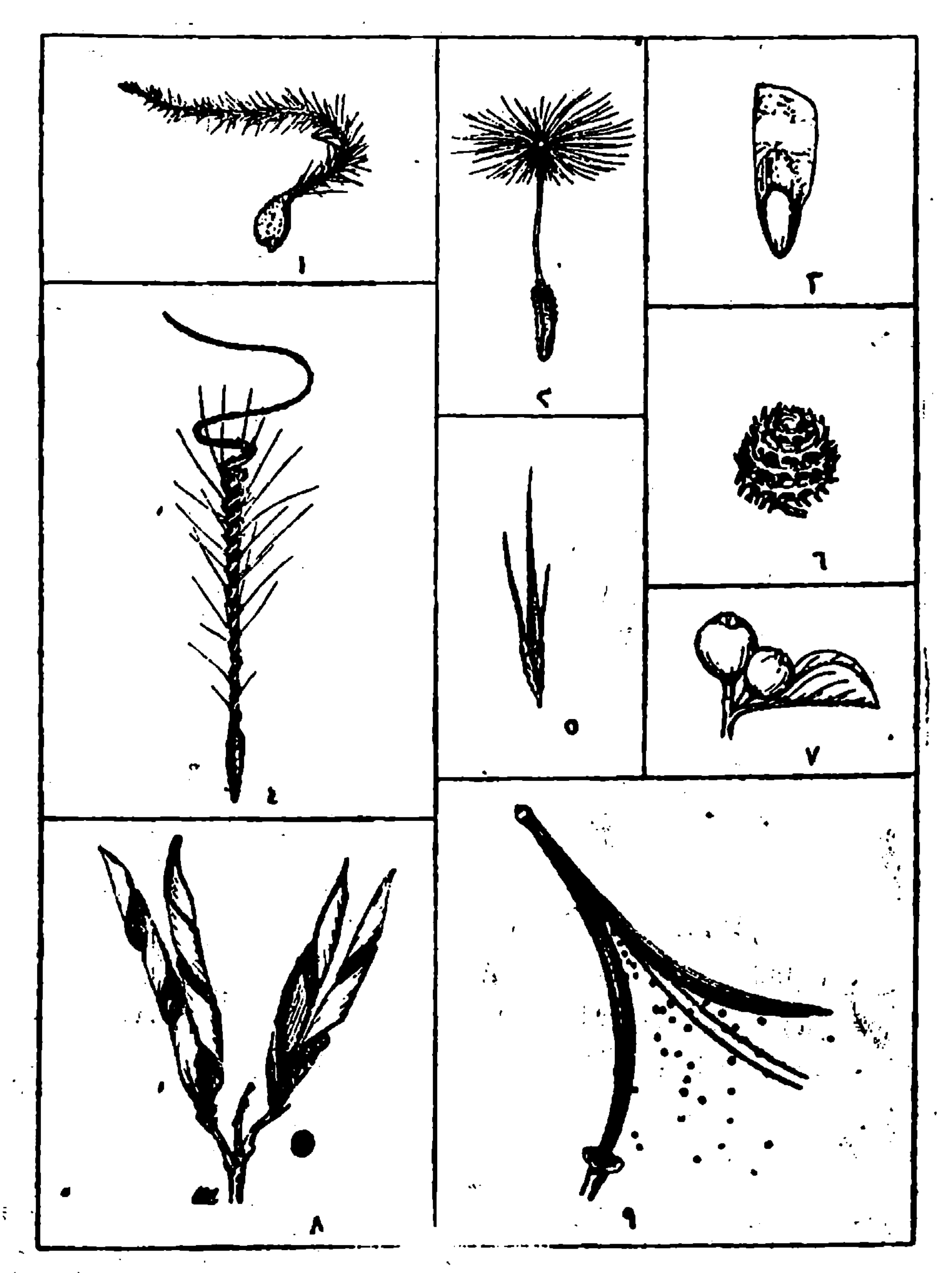
(شكل ٢٩٦)



الانتشار الميكانيكى فى ثمرة الجارونيا : إلى اليسار الثمرة قبل الانتشار ، وإلى اليمين الثمرة بعد الانتشار (عن فرتش وسالسبورى) .

حلزونياً يؤدى إلى قذف البذور بعيداً عن النبات . وفى ثمار الدهمة (Erodium) والجارونيا (Geranium) يظل القلم باقياً فى الثمرة ، وعند نضج الأخيرة ينشق إلى أجزاء يتصل كل جزء منها بكربلة تحتوى على بذرة واحدة ، وعندما تجف هذه الأجزاء إما أن تلتف حول نفسها كما فى ثمرة الدهمة أو تلتوى إلى أعلى كما فى الجارونيا (شكل ٢٩٦) ، وفى كلتا الحالتين تقذف بالبذور بعيداً عن النبات .

(شكل ٢٩)



طرق الانتشار المختلفة فى الثمار والبذور : بوساطة الرياح (١، ٢، ٣)، بالالتصاق بجسم الحيوان (٤، ٥، ٦) ، عن طريق تغذية الحيوان على الثمار (٧) ، بالنفخ بشدة (٨، ٩) .

الباب الثامن والعشرون

تقسيم النباتات كاسيات البذور

بدأ علم تقسيم النباتات من قديم الزمن قبل الميلاد بجمع بعض النباتات الطبية وتسميتها ، وكانت الجهود التى بذلت والدراسات التى قامت ترمى إلى الفائدة الطبية ، ثم تطور علم تقسيم النباتات بعد ذلك وأصبح مستقلا ، ويعتمد فى التقسيم على العلاقات الطبيعية بين النباتات ، واتبعت طريقة دقيقة فى تسمية النباتات لتجنب الخلط بينها .

ولقد قام لينيس (Linnaeus) ، والذى ولد بالسويد عام ١٧٠٧ ميلادية بتقسيم النباتات على أساس عدد الأسدية ، ثم تبعه جيسى (Jussieu) — الذى عاش فى الفترة بين عامى ١٧٤٨ و ١٨٣٦ — وقسم النباتات إلى مائة رتبة تتميز عن بعضها البعض تمييزاً واضحاً ، ولازال بعضها حتى الآن معروفاً كفصائل ، ثم رتبت بعد ذلك فى خمس عشرة طائفة ، ثم قسمت الطوائف إلى ثلاث مجموعات كبيرة .

وفى الفترة بين عامى ١٨١٦ و ١٨٤١ ألف كاندول (Candolle) كتاباً ضمنه ٣٠,٠٠٠ نباتاً قام بتقسيمها ووصفها ، وكان تقسيمه شبيهاً بتقسيم لينيس ولكنه تميز عنه باعتماده على أسس طبيعية .

ولقد كان النصف الأول من القرن التاسع عشر مليئاً بالنشاط فى تقسيم النباتات واكتشاف نباتات جديدة وطرق مختلفة للتقسيم ، وقام براون — الذى عاش فى الفترة بين عامى ١٧٧٣ و ١٨٥٥ — بجمع ٤٠٠٠ نبات كانت غالبيتها جديدة .

وفى الفترة ما بين عامى ١٨٦٤ و ١٨٨٣ وضع بنثام (Bentham) وهوكر (Hooker) مؤلفهما الضخم « أجناس النبـــاتات » (Genera plantarum) تناولا فيه تقسيم النباتات الزهرية إلى ذوات فلقتين وذوات فلقة واحدة ،

ثم قسما ذوات الفلقتين إلى ثلاثة أقسام رئيسية ، يتميز القسم الأول منها بانفصال البتلات ، والثانى باتحادها ، والثالث ببساطة الغلاف الزهرى . وتناولا بعد ذلك تقسيم كل قسم من الأقسام الرئيسية على أساس وضع المبيض والمحيطات الزهرية على التخت وشكل الجنين والحالة الجنسية للزهرة وغيرها من العوامل .

وفى عام ١٨٨٣ اقترح أيشلر (Eichler) تقسيم المملكة النباتية كما يلى :

(ا) النباتات اللازهرية (Cryptogams) .

(ب) النباتات الزهرية (Phanerogams) .

وتنقسم النباتات الزهرية إلى :

١ — النباتات عاريات البذور (Gymnosperms) .

٢ — النباتات كاسيات البذور (Angiosperms) .

وتنقسم النباتات كاسيات البذور بدورها إلى :

١ — ذوات الفلقة الواحدة (Monocotyledoneae) .

٢ — ذوات الفلقتين (Dicotyledoneae) .

وفى ذوات الفلقتين توجد نباتات يكون فيها الغلاف الزهرى منفصلا ، وتوجد نباتات تتميز باتحاد غلافها الزهرى .

ثم ظهر بعد ذلك إنجلر (Engler) فى الفترة بين عامى ١٨٤٤ — ١٩٣٠ ، وكان أستاذ للنبات فى جامعة برلين ومديراً لحديقة برلين النباتية ، ونشر تقسيماً يستند أساساً على تقسيم أيشلر (Eichler) ولكنه يختلف عنـــه فى التفاصيل . إذ اعتبر الفصائل ذات الأزهار العارية والتى لا تحميها إلا قنابات — وكذلك ذات الغلاف الزهرى الضامر — من أبسط الفصائل التابعة لتحت الطائفة سائبة الغلاف الزهرى (Archichlamydeae) . ولقد انتشر تقسيم إنجلر إنتشاراً واسعاً ، ويرجع ذلك إلى الأساس المتين الذى يستند إليه . ووضع إنجلر وبرانتل (Prantl) مؤلفاً ضمناه وصفاً شاملا لكل الفصائل وطريقة التعرف عليها .

وظهر وتستين (Wettstein) فى الفترة بين عامى ١٨٦٢ و ١٩٣٨ ، ووضع تقسيماً يشبه إلى حد ما تقسيم إنجلر ، ولكنه يختلف عنه فى اعتباره ذوات الفلقتين أبسط من ذوات الفلقة الواحدة .

ولقد اعتبر بسى (Bessey) الأمريكى (١٨٤٥ – ١٩١٥) أن رتبة الأقحوانيات (Ranales) تضم النباتات الزهرية البدائية ، وأنه تتفرع منها الفصائل التابعة لذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين .

ووضع هالير (Hallierr) الألمـــانى (١٨٦٨ – ١٩٣٢) تقسيماً شبيهاً بتقسيم بيسى ، واعتبر فيه ذوات الفلقتين أبسط من ذوات الفلقة الواحدة . ثم وضع بول (Pulle) الهولندى – عام ١٩٣٨ – تقسيماً محـــوراً عن تقسيم إنجلر .

ونشر رندل (Rendle) – (١٨٦٥ – ١٩٣٨) – تقسيماً شبيهاً بتقسيم إنجلر مع اختلاف بسيط . كما نظم فيه الرتب فى ذوات الفلقتين فى ثلاثة أقسام : القسم الأول يضم النباتات التى فيها الغلاف الزهرى غير مميز إلى سبلات وبتلات (Monochlamydeae) ، والثـــانى يضم النباتات التى يتميز فيها الغلاف الزهرى إلى سبلات وبتلات ولكنها سائبة وتعرف بسائبة البتلات (Dialypetalae) ، والثالث يضم النباتات ذات الغلاف الزهرى المميز إلى سبلات وبتلات متحدة وتعرف بمتحدة البتلات (Sympetalae) .

ولقد ظل تقسيم إنجلر وبرانتل سائداً فى معظم المعاشب الكبيرة وكتب الفلورا المختلفة مع تعديل فى ترتيب بعض الرتب والفصائل ، ويتبع التقسيم المتبع فى هذا الكتاب طريقة إنجلر ورندل .

تنقسم النباتات كاسيات البذور إلى نباتات ذوات فلقتين وأخرى ذوات فلقة واحدة ، وتتميز الأولى بجنين له فلقتان وبالتعرق الشبكى للأوراق وبالحزم الوعائية المفتوحة ، أما المحيطات الزهرية فتكون فى الغالب فى ترتيب رباعى (Tetramerous) أو خمـــاسى (Pentamerous) . وفى نباتات ذوات الفلقة الواحدة يتركب الجنين من فلقة واحدة ، والأوراق فيها متوازية التعرق والحزم الوعائية مغلقة ، وتنتظم المحيطات الزهرية فى ترتيب ثلاثى (Trimerous) .

وتنقسم النباتات ذوات الفلقتين إلى قسمين أحدهما يضم النباتات التى يتركب الغلاف الزهرى فيها من أوراق منفصلة أو يكون منعدماً (Archichlamydeae or Choripetalae) ، ويشمل الآخر النباتات التى يتركب غلافها الزهرى من أوراق ملتحمة وخاصة البتلات (Sympetalae) . ويمكن تقسيم النباتات التى يتركب فيها الغلاف الزهرى من أوراق منفصلة إلى نباتات غلافها الزهرى لا يتميز إلى سبلات وبتلات ويوجد فى محيط واحد (Monochlamydeae) أو يكون منعدماً ، ونباتات غلافها الزهرى متميز إلى سبلات وبتلات (Dialypetalae) ، وسنتناول بالشرح الفصائل النباتية الآتية :

ذوات الفلقة الواحدة :

الفصيلة النجيلية (Gramineae) : رتبة القنبعيات (Glumiflorae) .

الفصيلة النخيلية (Palmae) : رتبة البرنسيبيات (Principes) .

الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) : رتبة الزنبقيات (Liliflorae) .

الفصيلة السوسنية (Iridaceae) : رتبة الزنبقيات (Liliflorae) .

ذوات الفلقتين :

(ا) فصائل غلافها الزهرى من أوراق منفصلة :

١ – فصائل غلافها الزهرى غير مميز إلى سبلات وبتلات :

فصائل أزهارها عارية : الفصيلة الصفصافية (Salicaceae) ، رتبة الصفصافيات (Salicales) .

فصائل غلافها الزهرى مكون من محيط واحد : الفصيلة التوتية (Moraceae) ، رتبة الحزيقيات (Urticales) .

٢ – فصائل غلافها الزهرى مميز إلى سبلات وبتلات :

الفصيلة القرنفلية (Caryophyllaceae) : رتبة السنتروسبرمات (Centrospermae)

الفصيلة الخشخاشية (Papaveraceae) : رتبة الريودالات (Rhoeadales)

الفصيلة الصليبية « Cruciferae » : رتبة الريودالات « Rhoeadales » .

الفصيلة الوردية « Rosaceae » : رتبة الورديات « Rosales » .

ثلاث فصائل تنمى إلى : رتبة القرنيات « Leguminales » .

الفصيلة الجيرونية « Geraniaceae » : رتبة الجرانيالات « Geraniales » .

الفصيلة السذابية « Rutaceae » : رتبة « » .

الفصيلة الخبازية « Malvaceae » : رتبة الخبازيات « Malvales » .

الفصيلة البنفسجية « Violaceae » : رتبة الجداريات « Parietales » .

الفصيلة الآسية « Myrtaceae » : رتبة الآسيات « Myrtiflorae » .

الفصيلة الخيمية « Umbelliferae » : رتبة الخيميات « Umbelliflorae » .

(ب) فصائل يتركب غلافها الزهرى وخاصة البتلات من أوراق ملتحمة:

«الفصيلة الزيتونية « Oleaceae » : رتبة الملتويات « Contortae » .

الفصيلة الأبوسينية « Apocynaceae » : رتبة « » .

الفصيلة العلاقية «Convolvulaceae» : رتبة الأنبوبيات « Tubiflorae » .

الفصيلة الوربانية « Verbenaceae » : رتبة « »

الفصيلة الشفوية « Labiatae » : رتبة « »

الفصيلة الباذنجانية « Solanaceae » : رتبة « »

فصيلة حنك السبع «Scrophulariaceae» : رتبة « »

الفصيلة البجنونية « Bignoniaceae » : رتبة «

الفصيلة القرعية « Cucurbitaceae » : رتبة القرعيات « Cucurbitales » .

الفصيلة المركبة « Compositae » : رتبة الناقوسيات «Campanulatae» .

فصائل ذوات الفلقة الواحدة

رتبة القنبعيات

تتميز رتبة القنبعيات (Glumiflorae) بأزهارها دقيقة الحجم والمنتظمة فى سنيبلات ، كما تتميز أيضاً بخلو أزهارها من الغلاف الزهرى الحقيقى وبوجود ثلاث أو ست أسدية ومبيض علوى يتركب من كربلة إلى ثلاث كرابل . وتخرج الزهرة من إبط قنابة جافة . والثمرة من نوع البرة أو الفقيرة ، والبذرة غنية بالإندوسبرم، ومن بين الفصائل التى تضمها هذه الرتبة الفصيلة النجيلية .

الفصيلة النجيلية

تعتبر الفصيلة النجيلية (Gramineae) من الفصائل التى تضم عدداً كبيراً من النباتات ، إذ تشتمل على ٤٥٠ جنساً و ٤٥٠٠ نوعاً ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم وخاصة فى المناطق المعتدلة ، حيث تكون البرارى ، وغالبية هذه النباتات عشبية لها جذور ليفية ، ويندر أن تصل إلى حجم كبير كما فى الغاب الهندى (Bambusa) . وهى إما حولية أو معمرة ، والكثير منها ريزومات والساق مستديرة المقطع ، وتكون عادة مجوفة ، وتحمل أوراقاً متبادلة ومرتبة فى صفين ولها قواعد غمدية ، وتوجد عند اتصال الغمد بالنصل زائدة غشائية يطلق عليها اسم اللسين ، والنصل عادة مستطيل متوازى التعرق .

وتتركب النورة من وحدات تعرف كل واحدة منها بالسنيبلة (Spikelet) وتنتظم هذه السنيبلات لتكون سنبلة مركبة (شكل ٢٩٨ : ا) أو تأخذ نظاماً آخراً لتكون عنقوداً مركباً ، وتتركب السنيبلة من زهرة أو أكثر ، وعادة لا يتعدى عدد الأزهار الخمس ، فى الشعير والأرز تتركب السنيبلة من زهرة واحدة ، وفى الذرة من زهرتين ، وفى القمح يوجد عدد أكبر من الأزهار .

وتشمل هذه الفصيلة عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية مثل القمح (Triticum vulgare) ، وكذلك عدداً وافراً من النباتات البرية .

نبات القمح :

نبات عشبي ، له ساق أسطوانية جوفاء ذات عقد مصمتة ، وتحمل صفين من الأوراق لها قواعد غمدية ونصل شريطي متوازى التعرق ، ويوجد عند اتصال النصل بالقاعدة لسين .

وتتركب النورة من عدد من السنيبلات ، وتتكون كل سنيبلة من عدد من الأزهار الجالسة تنتظم على محور قصير مفصلى (Rachilla) — (شكل ٢٩٨ : ب) وتنتظم الأزهار فى صفين ، وتغلفها جميعاً قنابتان ، يطلق على السفلية منهما اسم القنبعة الأولى (First glume) والعلوية اسم القنبعة الثانية (Second glume) وتحيط بكل زهرة قنابتان ، إحداهما سفلية خارجية — تقع فى الجانب الأمامى من الزهرة — وتسمى العصيفة السفلى (Lemma) ، والأخرى علوية داخلية تقع فى الجانب الخلفى من الزهـــرة — وتسمى العصيفة العليا (Palea) ، والزهرة خنثى وحيدة التناظر ، وتمثل الغلاف الزهرى حرشفتان صغيرتان يطلق على كل منها اسم فليسة (Lodicule) —(شكل ٢٩٨ : ج ، د) .

الطلع : يتركب من ثلاث أسدية ، لها خيوط طويلة رفيعة تتصل بالمتوك بالقرب من وسطها (شكل ٢٩٨ : ج) ، ولذلك تتدلى الأخيرة ، ويسهل تحركها بوساطة الرياح مما يساعد على انتثار حبوب اللقاح .

المتاع : يتركب من كربلة واحدة ، والمبيض علوى يتكون من غرفة واحدة تحتوى على بويضة واحدة تخرج من مشيمة قية . ويعلو المبيض ميسمان ريشيان (شكل ٢٩٨ : ج ، ـ) .

الثمرة : برة ، أي جافة غير متفتحة ، وتحتوى على بذرة واحدة تتحد القصرة فيها بغلاف الثمرة ، وتشتمل البذرة على إندوسبرم نشوى وجنين صغير يقع فى أحد طرفيها .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً كبيراً من نباتات المحاصيل ، عدا القمح ، وهى :

الشعير : (Hordeum vulgare) : وتتميز سنبلة الشعير بوجود ثلاث سنيبلات عند كل عقدة ، وقد تكون إحدى السنيبلات أو اثنتان منها عقيمة تبعاً لصنف الشعير ، وتحتوى كل سنيبلة على زهرة واحدة فقط .


(شكل ٢٩٨)

القانون الزهرى : .|. ☿ غل صناص ٢ ط ٣ م ١ ٦

الفصيلة النجيلية ، القمح : (أ) سنبلة ، (ب) رسم تخطيطى يبين تركيب السنبلة ، (ج) زهرة نزعت منها العصيفة السفلى ، (د) مسقط زهرى

الذرة الشامية (Zea mays) : أزهارها وحيدة الجنس ، ويوجد كلا النوعين من الأزهار الذكرية والأنثوية على نفس النبات ، وتنتظم الأزهار الذكرية فى نورة عنقودية مركبة عند قمة النبات ، بينما توجد النورات الأنثوية على الجزء الأسفل من النبات ، وتخرج من آباط الأوراق .

الذرة العويجة (الرفيعة) (Andropogon sorghum) : تكثر زراعتها فى الوجه القبلى ، وتستعمل فى تغذية الحيوان ، كما يستعملها بعض الأهالى فى عمل الخبز .

الأرز (Oryza sativa) : السنيبلات فى الأرز مفلطحة جانبياً ، وتحتوى كل منها على ست أسدية .

قصب السكر (Saccharum officinarum) : يستخرج السكر من سيقانه ، وتتراوح نسبته بين ١٠٪ و ١٥٪ من وزن القصب ، ويحضر منه أيضاً المولاس الذى يستغل فى صناعة الكحول .

النباتات البرية : وتشمل هذه الفصيلة كثيراً من النباتات البرية منها الدنيبة (Panicum crus galli) ، وهى من الحشائش الهامة التى تزرع لإصلاح الأراضى المحتوية على نسبة عالية من الأملاح ، والتى لا تصلح لزراعة الأرز . ومن النباتات البرية أيضاً النجيل (Cynodon dactylon) والبوص (Phragmites) والغاب الهندى (Bambusa) .

رتبة البرنسيبيات

تشتمل رتبة البرنسيبيات (Principes) على الفصيلة النخيلية (Palmae) فقط . والنباتات التابعة لهذه الرتبة خشبية ، وأزهارها منتظمة فى نورات قينوية مغلفة بقينوه أو أكثر كبيرة الحجم . ويتميز غلافها الزهرى بترتيبه الثلاثى (Trimerous) ، والمبيض فى هذه الرتبة علوى ويتركب من ثلاث كرابل . ويبلغ عدد البويضات فى الزهرة الصغيرة ثلاث بويضات ولكن واحدة منها فقط هى التى تكون البذرة . والثمرة لبية أو حسلية .

الفصيلة النخيلية

تضم الفصيلة النخيلية (Palmae) حوالى ٢٢٠ جنسا و ٤٠٠٠ نوعا ، وتوجد عادة فى المناطق الحارة . ونباتات هذه الفصيلة شجرية ، والساق عادة غير متفرعة ، ولكن فى نخيل الدوم يحدث تفرع ثنائى الشعب ، وتغلف الساق بقايا أغماد الأوراق القديمة التى سقطت ، وتنتهى بمجموعة من الأوراق كبيرة الحجم تكلل قمة الشجرة ، ولكل ورقة غمد وعنق ، ويكون النصل إما راحياً فى تجزئه أو مركباً ريشيا . وتشمل هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية ، من أهمها نخيل البلح (Phoenix dactylifera) .

نخيل البلح :

نخيل البلح شجرة تتركب من ساق طويلة أسطوانية غير متفرعة تنتهى بتاج من أوراق كبيرة الحجم مركبة ريشية . ونخيل البلح ثنائى المسكن ، أى أن الأزهار الذكرية والأنثوية توجد على نباتات منفصلة .

النورة : تنشأ النورة عادة فى إبط الورقة ، وهى قينوية ، تتركب من محور غليظ يتفرع إلى عدة فروع تحمل الأزهار الجالسة ، وتغلف النورة جميعها ورقة تسمى القينوة (Spathe) ، تنشق عند نضج النورة فتنبثق منها الفروع التى تحمل الأزهار .

الزهرة : جالسة وحيدة منتظمة .

الغلاف الزهرى : يتركب من ست أوراق زهرية — مرتبة فى محيطين — يتركب الخارجى منها من ثلاث أوراق ملتحمة ، والداخلى من ثلاث منفصلة (شكل ٢٩٩ . ب ، هـ) .

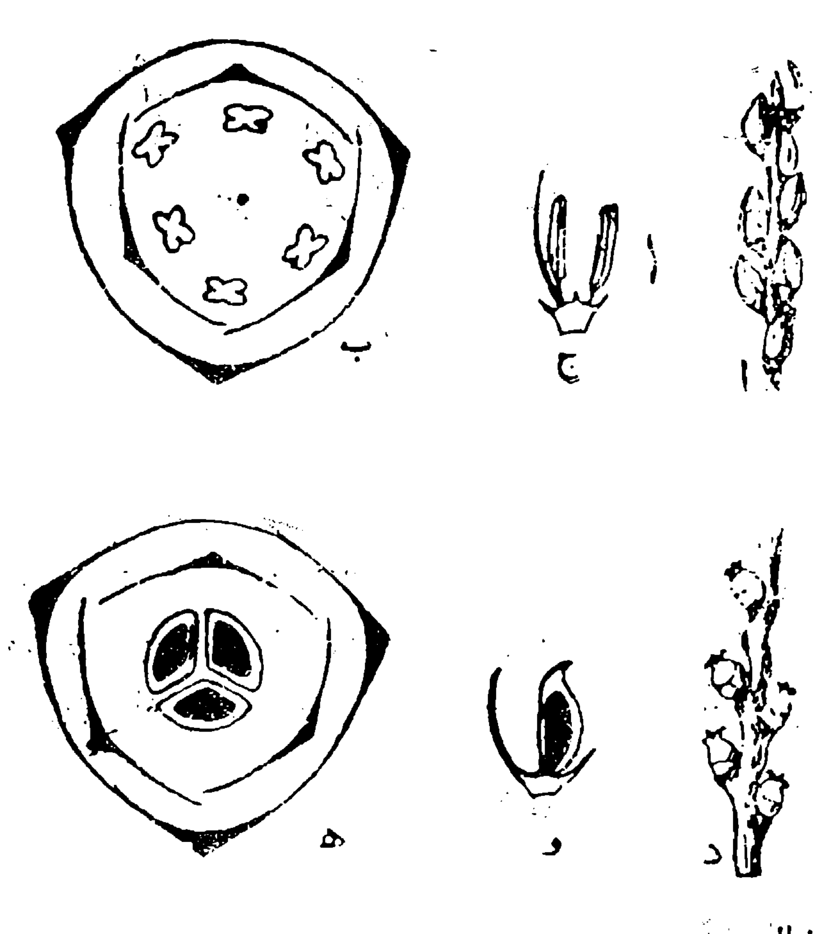
الطلع : يتركب الطلع فى الزهرة الذكرية من ست أسدية مرتبة فى محيطين يتكون كل منهما من ثلاث أسدية منفصلة (شكل ٢٩٩ : ب) .

المتاع : يتركب المتاع فى الزهرة الأنثوية من ثلاث كرابل منفصلة (شكل

٢٩٩ : هـ) فى الزهرة حديثة السن ، وتحتوى كل كربلة على بويضة واحدة (شكل ٢٩٩ : و) ، وفى الزهرة البالغة تنمو كربلة واحدة بينما تختفى الأخريتان .

الثمرة : لبية ، وتحتوى على بذرة واحدة لها إندوسبرم قرنى يشغل معظم حيز البذرة ، بينما يحتل الجنين جزءاً ضئيلا جداً .

(شكل ٢٩٩)



القانون الزهرى

الزهرة المذكرة ⊕ ، ♂ ، غل (٣) + ٣ ، ط ٣

الزهرة الأنثوية ⊕ ، ♀ ، غل (٣) + ٣ ، م ٣

الفصيلة النخيلية ، نخل التاج : (أ) جزء من النورة الذكرية ، (ب) مسقط زهرى للزهرة الذكرية ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة الذكرية ، (د) جزء من النورة الأنثوية ، (هـ) مسقط زهرى للزهرة الأنثوية ، (و) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى .

ويمكن تقسيم النخيل إلى مجموعتين ، ويتوقف هذا التقسيم على شكل الورقة :

١ - **نخيل ريشى الأوراق** (Feather palms) : وتتبع هذه المجموعة النباتات الآتية : نخيل البلح ونخيل الرخام (**Oreodoxa regia**) ويتميز بجذعه الأبيض ، وجوز الهند (**Cocos nucifera**) .

٢ - **نخيل مروحى الأوراق** (Fan palms) : ويتبع هذه المجموعة نخيل الدوم (**Hypthaene thebaica**) ، وهو يزرع فى الواحات والوجه القبلى ، وتتميز أشجاره بتفرعها تفرعاً ثنائى الشعب .

رتبة الزنبقيات

تشمل رتبة الزنبقيات (Liliflorae) ثمانى فصائل ، منها الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) والفصيلة السوسنية (Iridaceae) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهرى غير المميز إلى سبلات وبتلات ، كما تتميز أيضاً بمحيطاتها ذات الترتيب الثلاثى (Trimerous) ويتركب الطلع من ثلاث أو ست أسدية ، كما يتكون المتاع من ثلاث كرابل ملتحمة . والبذور فى هذه الرتبة إندوسبرمية.

الفصيلة الزنبقية

تشمل الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) حوالى ٢٥٠ جنسا و ٣٧٠٠ نوعا منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، ومعظم النباتات أعشاب معمرة ذوات أبصال أو درنات أو كورمات . وتحمل أوراقاً تختلف فى وضعها ، فهى إما أن تكون جذرية أو ساقية ، وفى الحالة الأخيرة تكون متبادلة أو محيطية ، والنورة فى هذه الفصيلة عديدة الأنواع .

وتضم هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ، من بينها نبات الأورنيثوجالم (Ornithogalum) ، ويعرف ببصل الحنش .

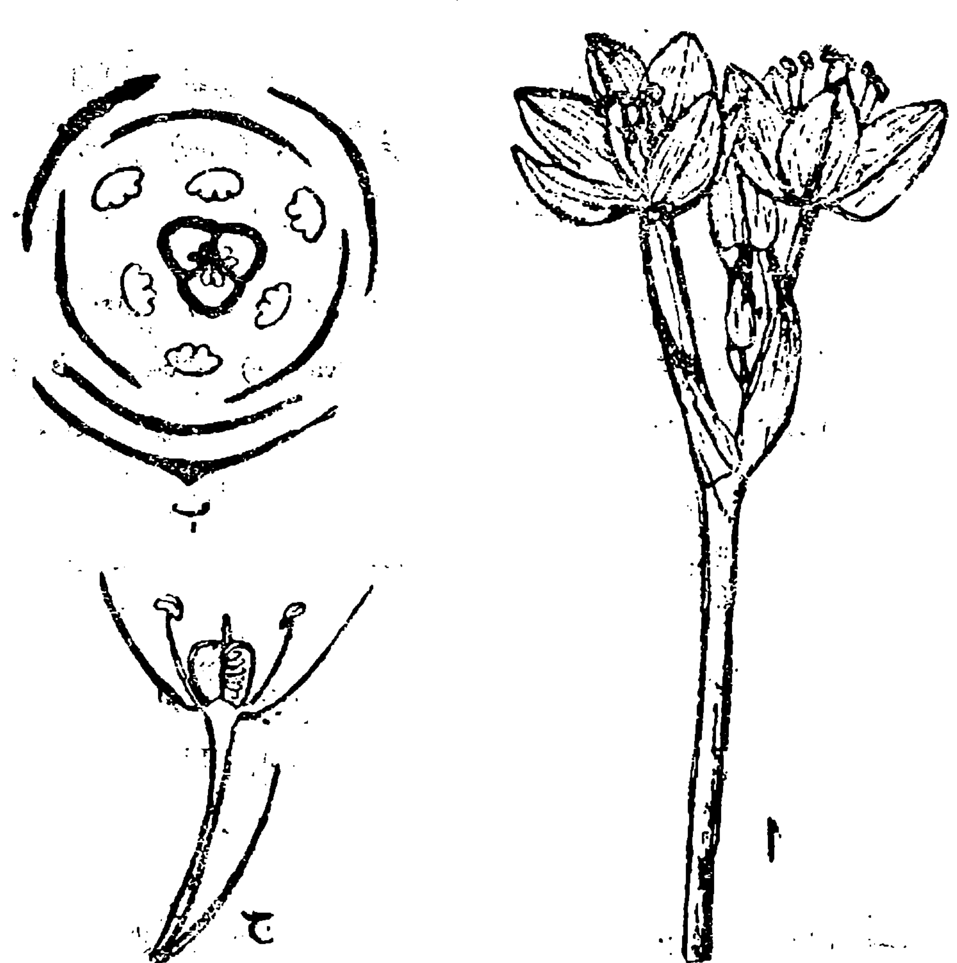
الأورنيثوجالم :

نبات عشبي يعد من نباتات الزينة ، ويحمل أزهاراً بيضاء جميلة ، خنثى ، منتظمة وتحت متاعية .

الغلاف الزهرى : يتركب من ست أوراق زهرية مرتبة فى محيطين ، يتكون كل محيط من ثلاث أوراق تشبه البتلات (شكل ٣٠٠ : أ ، ب) .

الطلع : يتركب من ست أسدية فى محيطين ، بكل منهما ثلاث أسدية منفصلة .

(شكل ٣٠٠)



القانون الزهرى : ⊕ ، ☿ ، غل ٣ + ٣ ، طـ ٣ + ٣ ، مـ (٣)

فصيلة الزنبقية ، الأورنيثوجالم : (أ) جزء من فرع زهري ، (ب) مسقط زهري ، (ج) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للزهرة .

المتاع : يتركب من ثلاث كرابل متحدة ، والمبيض علوى ، ويحتوى على ثلاث غرف ، بكل منها صفان من البويضات ، والوضع المشيمى محورى (شكل ٣٠٠ : ب ، ج) ويعلو المبيض قلم ينتهى بثلاثة مياسم .

النباتات الاقتصادية : تضم الفصيلة الزنبقية بعض النباتات التى تستعمل كغذاء مثل البصل (Allium cepa) والثوم (Allium sativum) والكرات البلدى (Allium kurrat) والكرات أبو شوشة (Allium porrum) وكشك ألماظ (Asparagus officinalis) ، وجميعها تزرع فى مصر ، وتستخرج الألياف من نبات السانسيفيريا (Sansevieria) .

النباتات الطبية :

الصبار (Aloe) : ويستخرج من عصير الأوراق فى بعض أنواع الصبار جليكوسيد يسمى الصبارين (Aloin) يستعمل طبياً كمسهل ومقو .

اللحلاح (Colchicum autumnale) : يستخرج من هذا النبات مادة تعرف باللحلاح (Colchicine) يحدث تضاعفاً فى عدد الصبغيات بالنواة . ويصاحب التضاعف الصبغى – نتيجة لمعاملة بعض النباتات بمادة اللحلاح – زيادة فى أحجامها أو فى أحجام بعض أجزائها ، كالأوراق والثمار ، وتستغل هذه الظاهرة اقتصادياً لإنتاج سلالات من نباتات تمتاز بكبر أحجامها ووفرة انتاجها .

نباتات الزينة: من بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة السفندر (Ruscus) والزنبق (Lilium) والسوسن الأصفر (Hemerocallis) .

الفصيلة السوسنية

تضم الفصيلة السوسنية (Iridaceae) حوالى ٥٨ جنسا و ١٥٠٠ نوعا منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة ، والنباتات التابعة لهذه الفصيلة أعشاب ذات درنات أو ريزومات أرضية كاذبة المحور ، وتحمل الفروع الهوائية أوراقاً شريطية ذات تعرق متوازى طولى . ومن بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات السوسن (Iris) .

السوسن :

نبات السوسن عشبي له ريزومات غليظة تخرج منها أفرع هوائية تحمل أوراقاً شريطية ، كما تحمل أزهاراً كبيرة الحجم مختلفة الألوان خنثى ، منتظمة وفوق متاعية (شكل ٣٠١) .

الغلاف الزهرى : يتركب من ست أوراق بتلية مرتبة فى محيطين ، بكل منهما ثلاث ورقات . وتتحد الأجزاء السفلى للأوراق الزهرية لتكوين أنبوبة تختية (Hypanthium) طويلة (شكل ٣٠١ : د) .

الطلع : يتكون من ثلاث أسدية مقابلة لأوراق الغلاف الزهرى الخارجية ولها متوك تنفتح للخارج .

المتاع : سفلى يتركب من ثلاث كرابل متحدة وثلاث غرف ، وتحتوى كل غرفة منها على بويضات عديدة تنتظم فى صفين وتنشأ على مشيمة محورية ، ويتفرع القلم إلى ثلاثة فروع بتلية .

الثمرة : علبة تنفتح انفتاحاً مسكنياً .

النباتات الطبية :

سوسن فلورنتينا (**Iris florentina**) : يستعمل مسحوق جذوره فى صناعة معجون الأسنان ، كما تستخدم الزيوت المستخرجة منه فى صناعة الروائح العطرية .

نباتات الزينة :

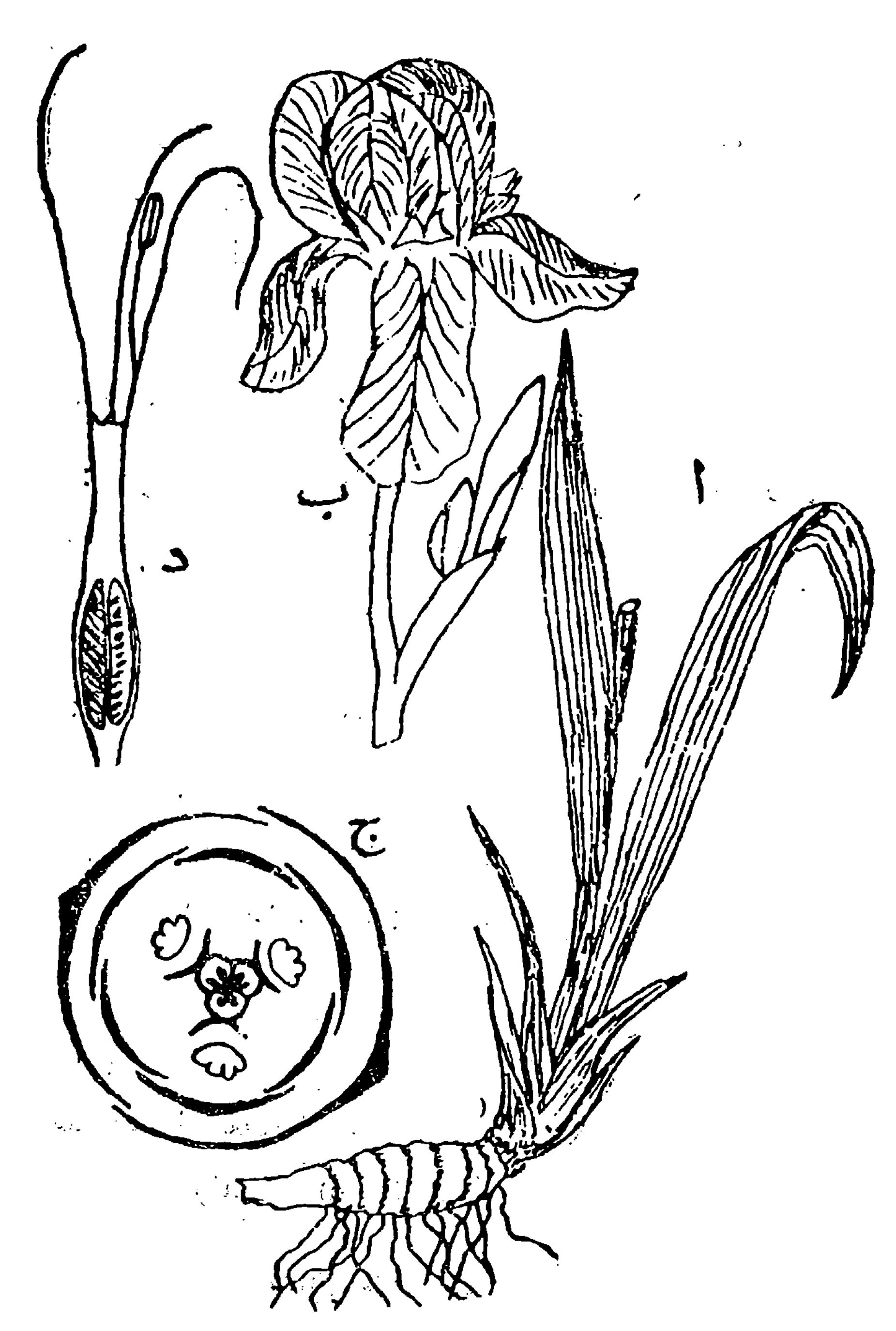
تضم هذه الفصيلة بعض نباتات الزينة التى تزرع بجمهورية مصر العربية ، مثل السوسن والفريزيا (**Fresia**) والجلاديولس (**Gladiolus**) .

فصائل ذوات الفلقتين

رتبة الصفصافيات

تشتمل رتبة الصفصافيات (Salicales) على فصيلة واحدة هى الفصيلة الصفصافية .

(شكل ٣٠١)



القانون الزهري : ⊕ ، ⚥ ، غل ٣+٣ ، طس ٣ ، مٓ (٣)

الفصيلة السوسنية ، السوسن: (ا) جزء من النبات ، (ب) جزء من النورة ، (ج) مسقط زهري ، (د) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للزهرة .

الفصيلة الصفصافية

تضم الفصيلة الصفصافية (Salicaceae) حوالى أربعة أجناس و٦٥ نوعاً منتشرة فى المناطق الحارة وتحت الحارة وفى المنطقة المعتدلة الشمالية ، وتختلف النباتات بين الأشجار والشجيرات ، وتحمل أوراقاً بسيطة وأزهاراً وحيدة الجنس منتظمة فى نورات هرية . ومن أهم النباتات التابعة لهذه الفصيلة نبات الصفصاف .

الصفصاف :

الصفصاف (Salix) يعد من الأشجار واسعة الانتشار فى جمهورية مصر العربية ، ويوجد على حواف القنوات والترع . ويحمل النبات أوراقاً بسيطة رمحية الشكل حافتها مسننة وأزهاراً وحيدة الجنس ، وتنتظم الأزهار الذكرية والأنثوية فى نورات هرية (شكل ٣٠٢ : د) ، والزهرة فى الصفصاف عارية تخرج من إبط قنابة .

الزهرة الذكرية : تتركب من ثمانى أسدية مرتبة فى محيطين ، ويختلف طول الأسدية فى المحيطين (شكل ٣٠٢ : ب ، ج) .

الزهرة الأنثوية : المتاع علوى يتركب من كربلتين متحدتين وغرفة واحدة ، كما يحتوى على بويضات عديدة تنتظم على مشيمة جدارية (شكل ٣٠٢ : هـ ، و) .

الثمرة : علبة .

وتشتمل الفصيلة على جنسين هامين وهما الصفصاف (Salix) والحور (Populus) ، ويتميز الصفصاف بأوراقه الرمحية الضيقة أما الحور فأوراقه بيضية أو مثلثة تقريباً .

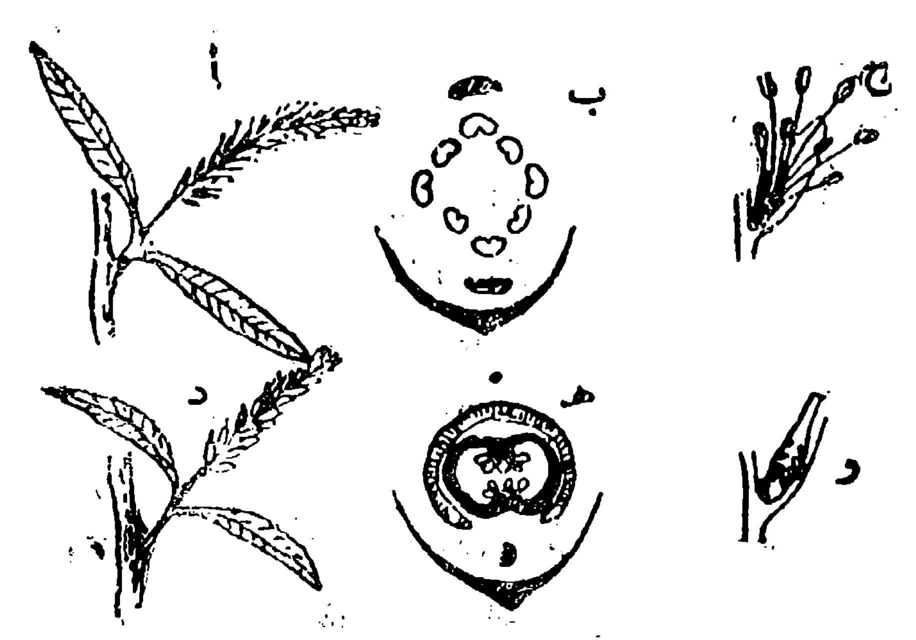
وتوجد عدة أنواع من الصفصاف وهى : الصفصاف الرفيع (Salix safsaf) والصفصاف الكبير (S. tetrasperma) وأم الشعور (S. babylonica) ، ويعتبر خشب الصفصاف من الأخشاب قليلة القيمة .

ويزرع نوعان من الحور فى مصر ، وهما الحور الأبيض (Populus alba) والحور البقس (Populus pyramidalis) . ويصنع من الخشب المستخرج من بعض أنواع الحوز عيدان الكبريت .

النباتات الطبية :

الصفصاف الأبيض (Salix alba) : يستخدم القلف المستخرج من هذا النبات كمادة قابضة وكسكنات معوية ، ويستعمل الجليكوسيد المعروف باسم السليسين (Salicin) — الذى يستخلص من القلف — فى علاج الروماتيزم .

(شكل ٣٠٢)



القانون الزهرى : ♂ ، ⊕ ، غل٠ ، ط٨
♀ ، ⊕ ، غل٠ ، م(٢)

الفصيلة الصفصافية ، الصفصاف : (أ) جزء من الساق يحمل نورة ذكرية ، (ب) مسقط زهرى لزهرة ذكرية ، (ج) زهرة ذكرية ، (د) جزء من الساق يحمل نورة أنثوية ، (هـ) مسقط زهرى لزهرة أنثوية ، (و) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المتوى الوسطى للزهرة

رتبة الحريقيات

تضم رتبة الحريقيات (Urticales) أربع فصائل منها الفصيلة التوتية (Moraceae) . وتتميز هذه الرتبة بمتاعها العلوى الذى يتركب من كربلتين وغرفة واحدة تحتوى على بويضة واحدة . ويتركب الطلع من أسدية تتراوح بين القليلة والعديدة .

الفصيلة التوتية

تضم الفصيلة التوتية (Moraceae) ما يقرب من ٧٣ جنساً وحوالى ١٠٠٠ نوع منتشرة فى المناطق الحارة وتحت الحارة والمعتدلة . وتختلف هذه النباتات فى طبيعتها ما بين أشجار وشجيرات أحادية أو ثنائية المسكن ، كما تتميز عادة باحتواء أنسجتها على لبن نباتى (يتوع) وتحمل أوراقاً بسيطة موذنة . وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ، ومن بين النباتات الهامة نبات التوت (Morus) :

التوت :

نبات شجرى يزرع فى أنحاء كثيرة من جمهورية مصر العربية ، ويحمل أزهاراً وحيدة الجنس ذكرية وأنثوية ، منتظمة وتحت متاعية .

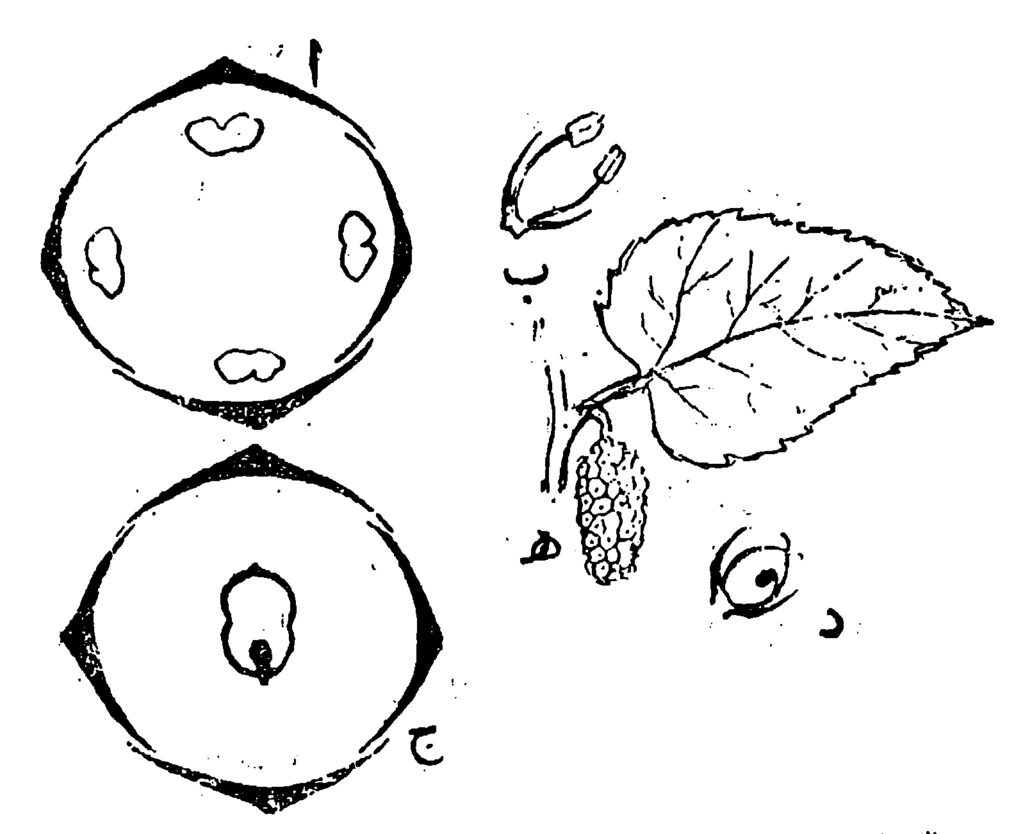
الغلاف الزهرى : يتركب من أربع أوراق سائبة ، مرتبة فى محيطين (شكل ٣٠٣ : ا ، ج) .

الزهرة الذكرية : تتكون من أربع أسدية تنتظم فى وضع مقابل للأوراق الزهرية .

الزهرة الأنثوية : يتركب المتاع من كربلتين ملتحمتين ، والمبيض ذو مسكن واحد ويحتوى على بويضة واحدة معلقة (شكل ٣٠٣ : د) ، ويعلو المبيض قلمان خيطيان ينتهيان بميسمين .

الثمرة : مركبة تشتمل على عدد من البنيدقات التى تتزاحم وتلتحم مع بعضها البعض عن طريق أغلفتها الزهرية الغليظة العصيرية .

(شكل ٣٠٣)



الفصيلة التوتية : (أ) مسقط زهرى للزهرة الذكرية ، (ب) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة الذكرية ، (ج) مسقط زهرى للزهرة الأنثوية ، (د) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة الأنثوية ، (هـ) جزء النبات يبين الثمرة المركبة .

تشتمل هذه الفصيلة على عدد من النباتات التى تزرع فى مصر ، منها ما تؤكل ثمارها مثل التين البرشومى (Ficus carica) والجميز (Ficus secamorus) والتوت الأبيض (Morus alba) والتوت الأسود (Morus nigra) ومنها ما يغرس فى الطرقات والحدائق مثل التين البراق (Ficus nitida) والتين الناسك (Ficus religiosa) والتين البنغالى (Ficus bengalensis) ذى الجذور الهوائية والتين المطاط (Ficus elastica) ، والنبات الأخير له أهمية اقتصادية ، إذ يستخدم اليتوع المستخرج منه فى صناعة المطاط .

وبالإضافة إلى النباتات المذكورة توجد بعض النباتات التى تنمو خارج مصر ولكنها على جانب كبير من الأهمية الاقتصادية مثل نبات

الأتروكاربس المشقوق (Atrocarpus incisa) الذى تستخدم ثماره الشحمية الغنية بالنشا فى صناعة الخبز فى المناطق الحارة ، ونبات البروسنيتيا القوطاسى (Broussonetia papyrifera) الذى يستغل قلفه الداخلى فى صناعة الورق .

رتبة السنتروسبرمات

تشمل رتبة السنتروسبرمات (Centrospermae) عشرة فصائل من بينها الفصيلة القرنفلية (Caryophyllaceae) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهرى الذى يتكون من محيطين ، وبمتاعها العلوى الذى يتركب من غرفة واحدة ، وببذورها ذات الجنين المنحنى أو الملتوى .

الفصيلة القرنفلية

تضم الفصيلة القرنفلية (Caryophyllaceae) ما يقرب من ٨٠ جنسا و ٧١٠ نوعاً منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وغالبية النباتات عشبية ، وتتميز بوجود عقد منتفخة على الساق ، نتيجة للتفرع الثنائى الذى يتكرر عند العقد . وتحمل النباتات أوراقاً بسيطة متقابلة جالسة ، تتصل بالساق بقاعدتها العريضة ، ومن نباتات الزينة الهامة التابعة لهذه الفصيلة نبات الجيبسوفيلا .

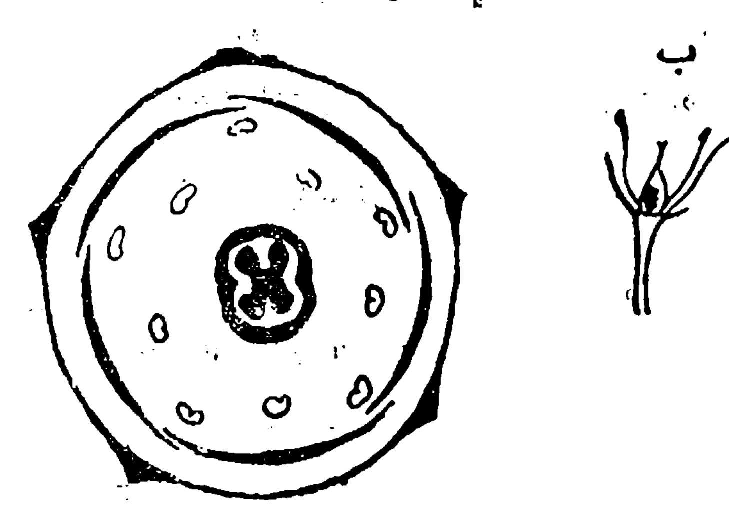
الجيبسوفيلا : (Gypsophila) نبات عشبى ، يحمل أوراقاً بسيطة جالسة وأزهاراً بيضاء صغيرة الحجم ، تنتظم فى نورات محدودة ثنائية الشعب مركبة ، والزهرة خنثى منتظمة تحت متاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة أو ملتوية التراكيب (شكل ٣٠٤ : ا) .

الطلع : يتركب من عشرة أسدية مرتبة فى محيطين ، بكل منهما خمس أسدية ، وفى المحيط الخارجى تتبادل الأسدية مع البتلات (شكل ٣٠٤ : ا)

(شكل ٣٠٤)



القانون الزهرى : ⊕ ، ⚥ ، ك(٥) ، ت٥ ، ط٥+٥ ، م(٢)

الفصيلة القرنفلية — الجيبسوفيلا : (أ) مسقط زهرى ، (ب) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة

المتاع : يتركب الجزء القاعدى من كربلتين تحتويان على بويضات عديدة تنتظم على مشيمة محورية ، بينما يتكون الجزء العلوى من المتاع من غرفة واحدة تنتظم فيها البويضات على مشيمة مركزية سائبة ، والمبيض علوى ينتهى بقلم يتفرع إلى ميسمين (شكل ٣٠٤ : ب) .

الثمرة : علبة

وتضم هذه الفصيلة بعض نباتات الزينة مثل قرنفل الزهور **(Dianthus)** والجيبسوفيلا **(Gypsophila)** والسيلين **(Silene)** .

رتبة الريودالات

تشتمل رتبة الريودالات (Rhoeadales) على سبع فصائل منها الفصيلة الخشخاشية (Papaveraceae) والفصيلة الصليبية (Cruciferae) . وتتميز هذه الرتبة بنباتاتها العشبية وأزهارها الخنثى تحت المتاعية ، ويتميز الغلاف الزهرى والطلع بوضعها الدائرى (Cyclic) على التخت . ويتكون المتاع من كربلتين إلى عدة كرابل ملتحمة ، وتنشأ البويضات فيها على مشيمة جدارية .

الفصيلة الخشخاشية

تشتمل الفصيلة الخشـــخاشية (Papaveraceae) على ما يقرب من ٢٨ جنساً و ٦٠٠ نوعاً منتشرة فى المناطق تحت الحارة والمعتدلة الشمالية ، وتتميز غالبية النباتات التابعة لهذه الفصيلة بوجود الأنابيب اللبنية « اليتوعية » ، وتحمل أوراقاً جالسة غير مؤذنة لها حافة مسننة أو منفصلة . وتوجد الأزهار إما منفردة أو تنتظم فى نورات عنقودية أو محدودة ثنائية الشعب . وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الهامة ترجع أهميتها للناحية الطبية والزينة ، ومن بين هذه النباتات الخشخاش .

الخشخاش :

الخشخاش (Papaver rhoeas) نبات عشبى يحمل أزهاراً كبيرة الحجم نسبياً ، وتتدلى البراعم الزهرية متجهة إلى أسفل ، والزهرة منتظمة ، خنثى تحت متاعيه .

الكأس : تتركب من سبلتين سائبتين تسقطان مبكراً .

التويج : يتكون من أربع بتلات سائبة تنتظم فى محيطين ، يتركب كل منهما من اثنتين ، وفى البرعم الزهرى تبدو البتلات مجعدة .

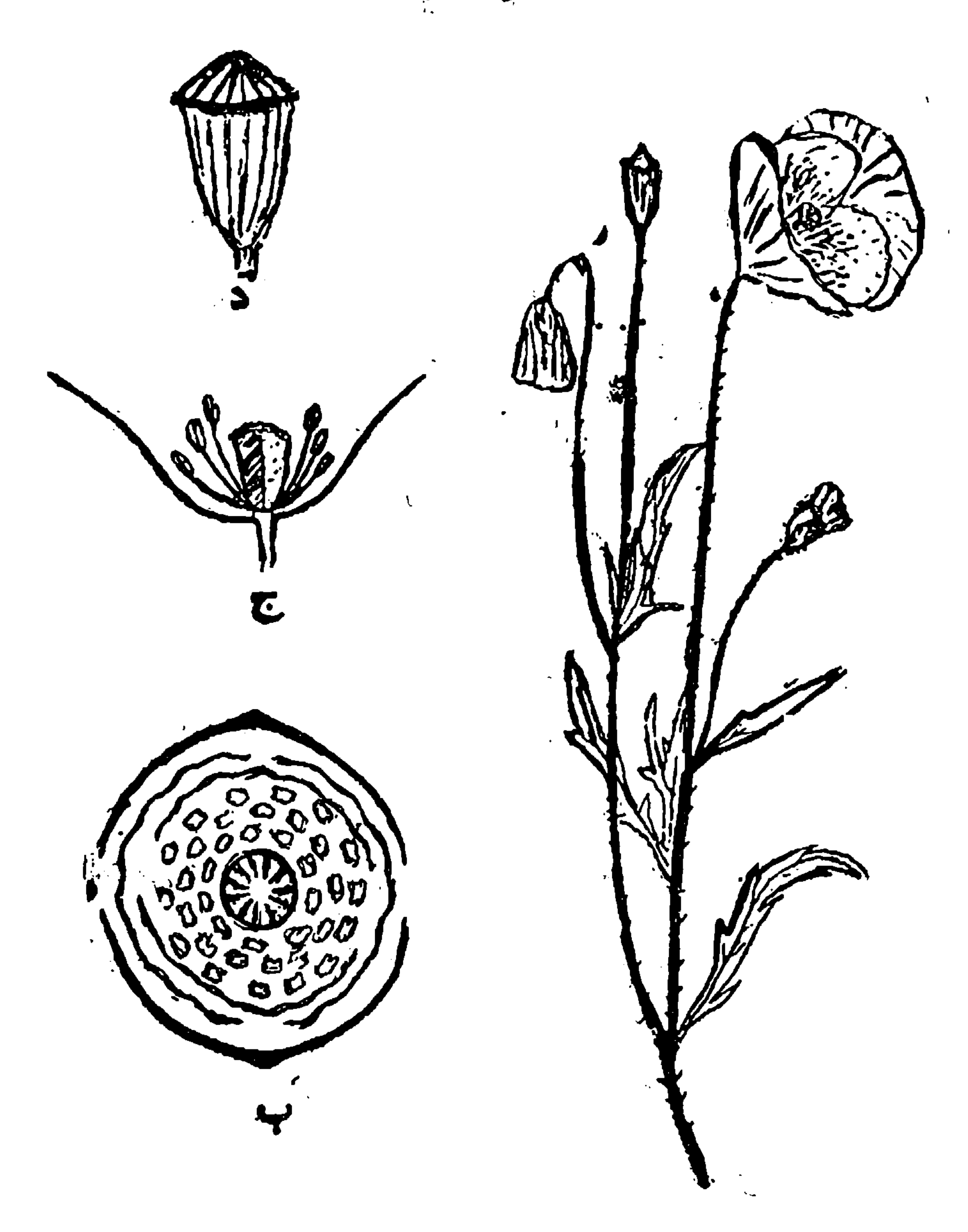
الطلع : يتكون من أسدية عديدة تنتظم فى عدة محيطات .

المتاع : يتركب من كرابل عديدة ومسكن واحد يحوى عدداً كبيراً من البويضات ، التى تنشأ على مشيمات تبرز من جدار المبيض متجهة نحو المركز (شكل ٣٠٥) . ولذلك يعتبر الوضع المشيمى جدارياً ، ويتساوى عدد المياسم مع عدد الكرابل .

الثمرة : علبة تنفتح بالثقوب .

ويتبع هـــذه الفصيلة نبات أبى النوم (Papaver somniferum) ، وهو من أهم النباتات الطبية ، إذ يستخرج الأفيون منه عن طريق تجفيف اللبن « اليتوعى » الذى يستنزف عند تشريط الثمار غير الناضجة .

(شكل ٣٠٥)



الفصيلة الخشخاشية ، الخشخاش: (ا) جزء من النبات ، (ب) مقطع زهري ، (ج) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للزهرة، (د) الثمرة

الفصيلة الصليبية

تضم الفصيلة الصليبية (Cruciferae) ما يقرب من ٣٥٠ جنساً و ٢٥٠٠ نوعاً ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم . ويكثر انتشارها فى المنطقة المعتدلة الشمالية ، وخاصة فى إقليم البحر الأبيض المتوسط . وغالبية النباتات معمرة

وبعضها حولى ، ومعظمها عشبية ، ويندر وجود تحت الشجيرات ، ويتبع هذه الفصيلة عدد من النباتات الاقتصادية وبعض نباتات الزينة ، ومن بينها المنثور (Matthiola incana) .

المنثور :

هذا النبات عشبي حولى ، وساقه صلبة مستديرة المقطع ، تحمل أوراقاً متقابلة الوضع . عديمة الأذينات ، وشكلها بيضاوى ، وسطحها وبرى .

النورة : الأزهار مرتبة فى نوره عنقودية (شكل ٣٠٦ : أ) عند نهاية الساق ، وتتباين ألوانها ، منها الأبيض الوردى والأحمر القرمزى .

الزهرة : لها عنق طويل ، وهى منتظمة خنثى ، وتحت متاعية .

الكأس : تتركب من أربع سبلات منفصلة مرتبة فى محيطين (شكل ٣٠٦ : ج) ، أحدهما خارجى يتكون من السبلتين الجانبيتين ، والآخر داخلى يتكون من السبلتين الوسطيتين ، ويوجد عند قاعدة كل من السبلتين الجانبيتين انتفاخ يتجمع فيه الرحيق .

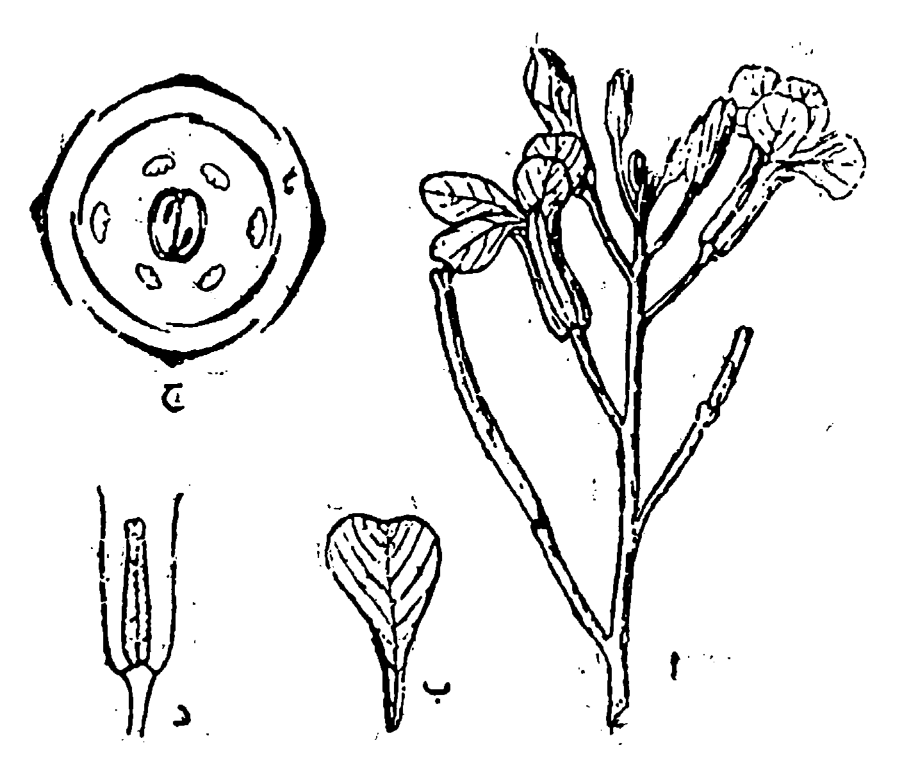
التويج : يتكون من أربع بتلات منفصلة ، ومرتبة على محورين متعامدين على شكل صليب ، ومن هنا اشتق اسم الفصيلة . وكل بتلة تتركب من جزء مستطيل يشبه المخلب ينتهى بجزء مفلطح مستدير (شكل ٣٠٦ : ب) .

الطلع : يتركب من ست أسدية فى محيطين ، والمحيط الخارجى يتكون من سداتين قصيرتين جانبيتين ، والداخلى يتركب من أربع أسدية طويلة مقابلة لأطراف البتلات ، إثنتان منها فى الجهة الأمامية ، والأخريتان فى الجهة الخلفية البعيدة عن المحور ، كما فى (شكل ٣٠٦ : ج) .

المتاع : يتركب من كربلتين متحدتين عند الحافة حيث توجد المشيمة وتتصل به البويضات ، وبذلك يكون الوضع المشيمى جداريا ، وتمتد نسيج من وسط كل من المشيمتين داخل تجويف المبيض ، ويلتقى النسيجان ويلتحمان ليكونا حاجزا يقسم المبيض إلى غرفتين ، ويعرف بالحاجز

الكاذب (Replum) ، لأنه ليس له أصل من جدار المبيض . وقد أدى تكوين هذا الحاجز الـكاذب إلى اجتماع صفتي المشيمة الجدارية والمبيض عديد الغرف معا (شكل ٣٠٦ : ج) ، واجتماعهما على هذا النحو لا يحدث فى أية فصيلة أخرى ، ويعتبر مميزاً للفصيلة الصليبية .

(شكل ٣٠٦)



القانون الزهري : ⊕ ، ☿ ، ك ٢+٢ ، ت ٤ ، ط ٢+٤ ، م (٢)

الفصيلة الصليبية . المنثور : (أ) نورة ، (ب) بتلة ، (ج) مخطط زهري ، (د) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للزهرة

الثمرة : خردلة ، وفى بعض نباتات الفصيلة تكوين خريدلة .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة بعض النباتات التي تستعمل كمادة غـذاء مثل الكرنب (Brassica oleracea var. capitata) والقرنبيط (Brassica oleracea var. botrytis) والفجـل (Raphanus sativus) واللفت (Brssica rapa) والجرجير (Eruca sativa) وحب الرشاد (Lepidium sativum) وتستعمل أوراقه فى السلاطة .

وهناك نوعان من الخردل : أحدهما الخردل الأسود (Brassica nigra) وتستعمل أوراقه فى السلاطة ، كما يستخرج من بذوره مسحوق أصفر يعرف بالمسْردة ، وهى إحدى التوابل الهامة التى تضاف إلى الطعام ، وتستعمل أيضاً لأغراض طبية ، والنوع الآخر هو الخردل الأبيض (Brassica alba) ، وتستعمل أوراقه أيضاً فى السلاطة ، كما يستخرج من بذوره زيت يستخدم فى صناعة الصابون والإضاءة .

ويتبع هذه الفصيلة بعض نباتات الزينة مثل المنثور والإيبرس (Iberis) ، ومعظم نباتات هذه الفصيلة غنية بمركبات الكبريت .

رتبـــة الورديات

تضم رتبة الورديات (Rosales) ١٦ فصيلة ، منها الفصيلة الوردية (Rosaceae) ، وتتميز هذه الرتبة بأزهارها الدائرية (Cyclic) وترتيبها الخماسى (Pentamerous) ، وتكون عادة محيطة المتاعية ونادراً ماتكون تحت أو فوق متاعية ، وفيها تنتظم الأسدية فى محيطات عديدة . ويتركب المتاع من كرابل متحدة أو منفصلة ذات أقلام سائبة .

الفصيلة الوردية

تشمل الفصيلة الوردية (Rosaceae) حوالى ١١٥ جنساً و ٣٢٠٠ نوعاً منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وهى إما أن تكون أشجاراً أو شجيرات أو أعشاباً ، وتحمل أوراقا متبادلة الوضع ، وهى عادة بسيطة أو مركبة ، ولها أذينات تكون متحدة مع العنق ، والنورة عديدة الأنواع ، فمنها المحدودة وغير المحدودة .

ويمكن تقسيم النباتات التابعة لهذه الفصيلة إلى ستة أقسام أو تحت فصائل (Subfamilies) تختلف فيما بينها فى بعض الصفات ، وتضم ثلاثة من هذه الأقسام عدداً غير قليل من النباتات المصرية ، ويمكن تمييزها على النحو الآتى :

١ — نباتات ذات مبيض سفلى يتركب من ٢ إلى ٥ كرابل ، ويلتحم التخت غالباً مع جدار المبيض ، كما فى تحت الفصيلة التفاحية (Pomoideae) .

٢ — نباتات ذات مبيض غير سفلى :

(أ) المتاع يتركب من كربلة واحدة فقط ، والثمرة إما حسلية أو لبية ، كما فى تحت الفصيلة البرقوقية (Prunoideae) .

(ب) المتاع يتركب من كرابل عديدة منفصلة ، مثل الورد ، كما فى تحت الفصيلة الوردية (Rosoideae) .

الـــورد :

نبات الورد (**Rosa involucrata**) شجيرة تظهر على ساقها أشـــواك سطحية الأصل ، وتحمل أوراقا متبادلة ومركبة ريشية ، وعند قاعدة الورقة توجد أذينتان تتحدان معها (شكل ٣٠٧ : ا) .

الزهرة : إما أن تكون وحيدة عند نهاية الفروع أو توجد فى نورات محدودة صغيرة ، وهى منتظمة خنثى ومحيطة المتاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات متحدة عند القاعدة .

التويج : يتركب من خمس بتلات منفصلة (شكل ٣٠٧ : ب) .

الطلع : عدد الأسدية غير محدود ، وهى منفصلة ، وتكون منحنية للداخل فى البرعم الزهرى .

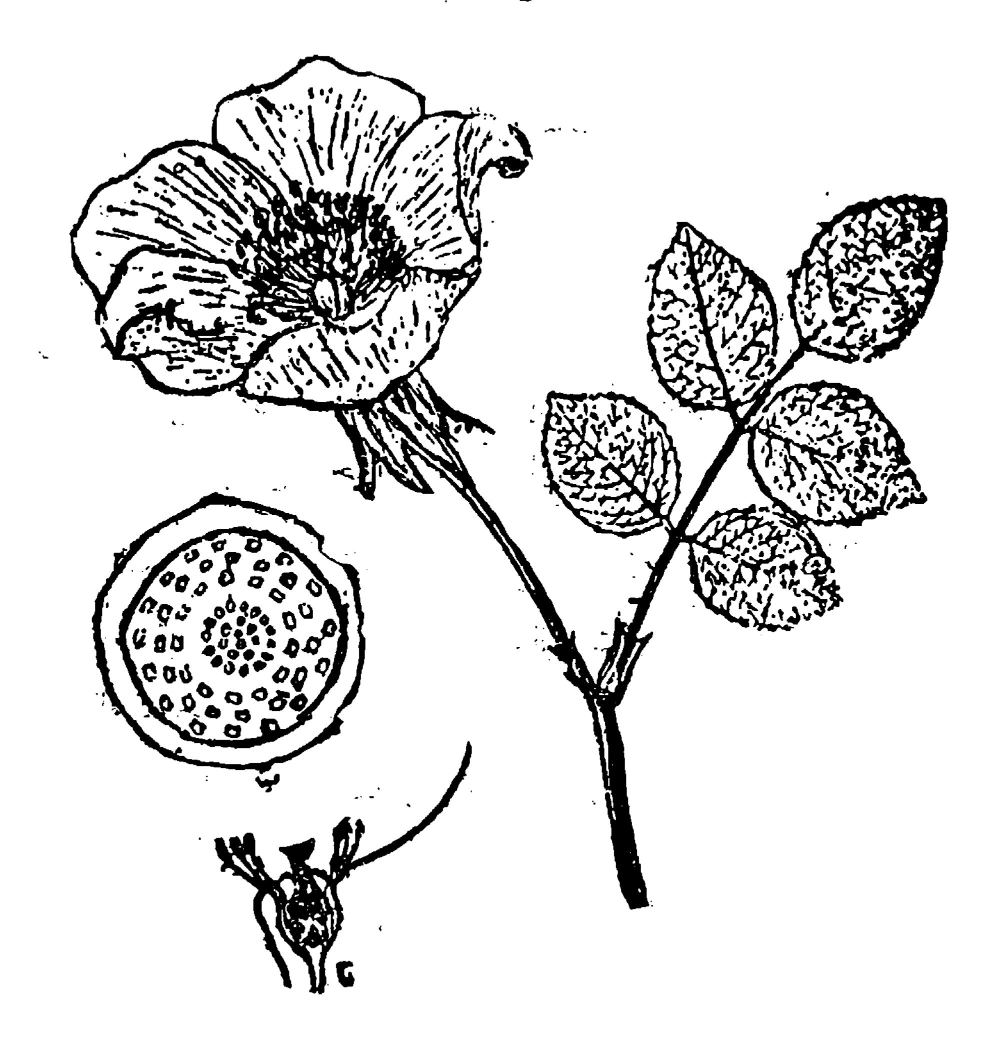
المتاع : يتركب من كرابل عديدة منفصلة ، وموزعة على السطح الداخلى للتخت المجوف (شكل ٣٠٧ : ج) ، والوضع المشيمى جدارى ، ويتساوى عدد الأقلام والمياسم مع عدد الكرابل .

الثمرة : مجموعة فقيرات منفصلة .

النباتات الاقتصادية :

تحت الفصيلة التفاحية (Pomoideae) : تشمل نباتات الكمثرى (**Pyrus communis**) والتفاح (**Pyrus malus**) والبشملة (**Eriobotrya japonica**) —

(شكل ٣٠٧)



القانون الزهري ⊕ ♀ ك (٥) ت ٥ ط ∞ م ∞ ، ١ ضم

الفصيلة الوردية . الورد المفرد : (أ) جزء من فرع زهري ؛ (ب) مسقط زهري ؛ (ج) رسم تخطيطي للقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطى للزهرة

تحت الفصيلة البرقوقية (Prunoidese) : تضم نباتات البرقوق (Prunus domestica) ، والخوخ (Prunus persica) والمشمش (Prunus armeniaca) واللوز (Prunus amygdalus) .

تحت الفصيلة الوردية (Rosoideae) : من بين النباتات التابعة لها نبات الورد (Rosa involucrata) ويستعمل للزينة ، وهناك نوع من الورد (Rosa damascena) يستخرج منه زيت طيار يعرف بزيت الورد ، ويستخدم

فى صنع الروائح العطرية ، وطريقة استخلاص هذا الزيت تكون بتقطير الأزهار الطازجة .

رتبة القرنيات

تعد رتبة القرنيات (Leguminales) من أكبر الرتب النباتية ، وهى منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وتشمل حوالى ٦٠٠ جنسا و ١٢٠٠٠ نوعا ، ونباتاتها إما أشجار وإما شجيرات وإما أعشاب ، وتحمل أوراقاً متبادلة ، غالباً ما تكون مركبة ، ولها أذينات تتباين فى أحجامها ، والنورة عادة غير محدودة ، وفى بعض الأحيان تنشأ الأزهار منفردة .

وتنقسم الرتبة إلى ثلاث فصائل ، يمكن تمييزها على النحو الآتى :

١ - أزهار منتظمة ، والسبلات والبتلات أطرافها متقابلة فى البرعم : الفصيلة الطلحية (Mimosaceae) .

٢ - أزهار وحيدة التناظر ، والبتلات والسبلات متراكبة فى البرعم :

(أ) التراكب فى البتلات تصاعدى ، أى أن البتلة الخلفية داخلية ، وجميع البتلات منفصلة وعددها خمس : الفصيلة البقمية (Caesalpinaceae) .

(ب) التراكب فى البتلات تنازلى ، أى أن البتلة الخلفية خارجية ، والبتلتين الأماميتين متحدتان وتشبهان القارب : الفصيلة الفراشية (Papilionaceae) .

الفصيلة الفراشية

تعتبر الفصيلة الفراشية أكثر فصائل رتبة القرنيات انتشاراً وأنواعا ، وتضم عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية وبعض نباتات الزينة مثل بسلة الزهور (Lathyrus odoratus) ، وأغلب النباتات عشبية ، والأزهار إما أن تكون وحيدة أو مرتبة على حامل طويل فى نورة غير محدودة .

بسلة الزهور :

هذا النبات عشبى متسلق ، وهو من نباتات الزينة الهامة ، وله ساق

خضراء مضلعة تحمل أوراقاً مركبة ريشية لها أذينات كبيرة ، وتتحور بعض الوريقات الطرفية إلى معاليق للتسلق ، والنورة عنقودية .

الزهرة : خنثى وحيدة التناظر ، ومحيطة المتاعية تقريباً .

الكأس : تتركب من خمس سبلات متحدة بالقرب من القاعدة .

التويج : يتكون من خمس بتلات مميزة إلى بتلة خلفية مستديرة تعرف بالعلم (Standard) ، وبتلتين جانبيتين تعرفان بالجناحين (Wings) ، وبتلتين أماميتين متحدتين تكونان الزورق (Keel) الذى يضم أعضاء التذكير والتأنيث (شكل ٣٠٨ : ا ، ج) .

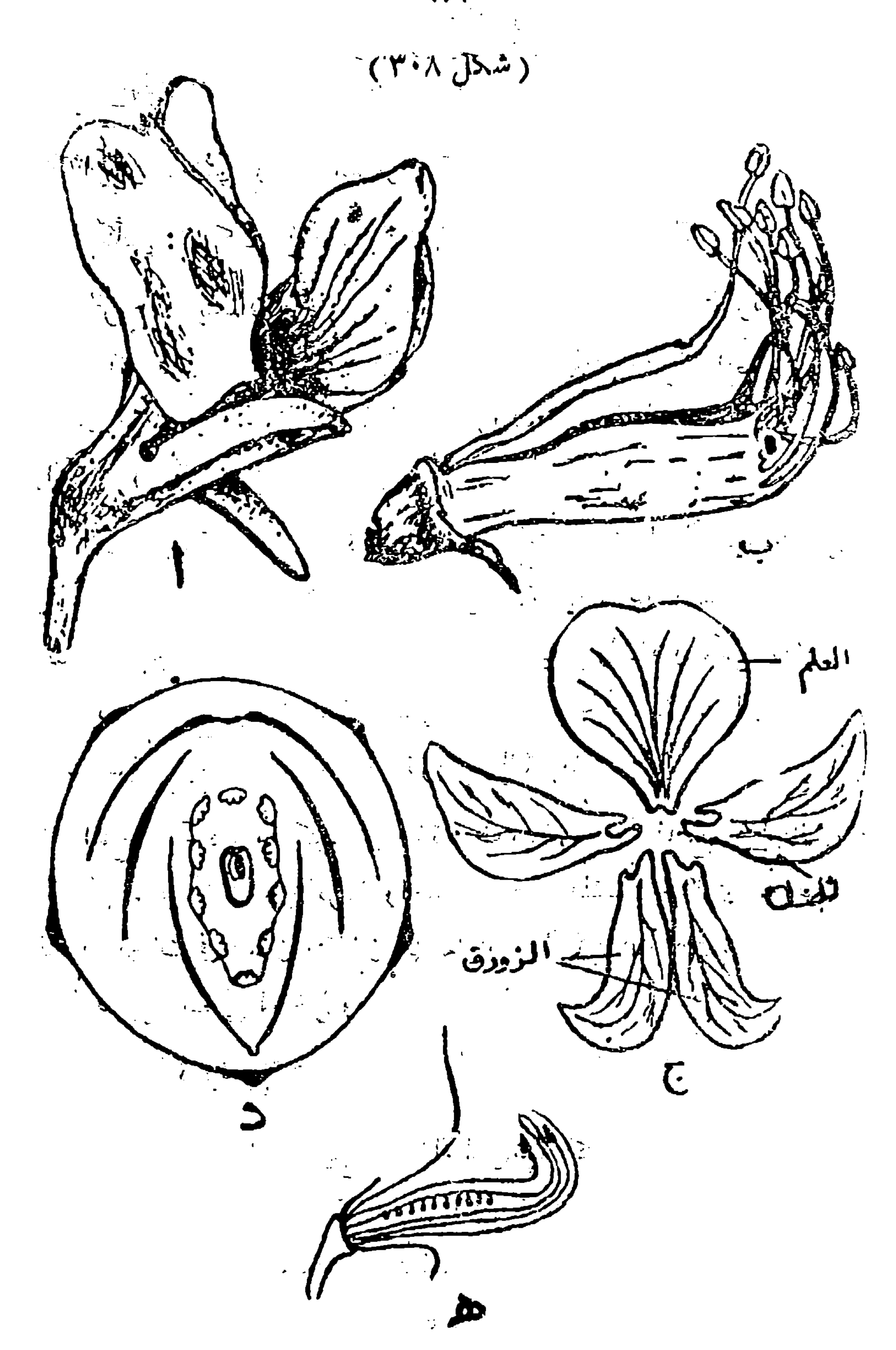
الطلع : يتركب من عشرة أسدية فى محيطين ، وتتبادل الأسدية الخمس فى المحيط الخارجى مع البتلات ، وتتحد جميع الأسدية — عدا السداة الخلفية — وتتكون نتيجة لاتحادها أنبوبة سدائية تحيط بالمبيض وتغلفة (شكل ٣٠٨ : ب ، د) . وجميع نباتات الفصيلة الفراشية لها هذه الخاصة فيما عدا الترمس ، إذ تتحد فيه جميع الأسدية مكونة أنبوبة سدائية مغلقة .

المتاع : يتركب من كربلة واحدة ذات مبيض ضيق مفلطح من الجانبين ومنحنى ، ويتكون من كربلة واحدة والوضع المشيمى جدارى ، حيث تنتظم البويضات فى صفين متقابلين على الطراز البطنى (Ventral suture) للكربلة والقلم طويل ومنحنى للداخل وملاصق للزورق .

الثمرة : قرنية (بقلاء) .

النباتات الاقتصادية : يتبع الفصيلة الفراشية كثير من نباتات المحاصيل وهى : الفول (Vicia faba) والعدس (Lens esculentus) والبازلا (Pisum sativum) ، والحلبة (Trigonells foenum graecum) والحمص (Ciçer arietinum) ، والفاصوليا (Phaseolus vulgaris) ، واللوبيا (Vigna sinensis) والبرسيم المسقاوى (Trifolium alexandrinum) والفول السودانى (Arachis hypogaea) . والبرسيم الحجازى (Medicago sativa) والترمس (Lupinus termis) .

(شكل ٣٠٨)



القانون الزهرى : ⚥ ك (٥) ت ١ + ٢ + (٢) ط ٥ + (٩) م ١

رتبة القرنيات : الفصيلة الفراشية ، بسلة الزهور : (أ) منظر خارجى للزهرة ، (ب) الطلع والمتاع ، (ج) أجزاء التويج ، (د) مسقط زهرى ، (ه) قطاع طولى مركزى فى الزهرة

وتتبع الفصيلة بعض النباتات الأخرى التى تستغل فى بعض النواحى الطبية والاقتصادية ومنها :

العرقسوس (Glycyrrhiza glabra) : وتستعمل جـذوره وريزوماته كملين . **فول الصويا** (Glycine hispida) : تحتوى بذوره على حوالى ٥٪ نشا ومن ٤٠ إلى ٤٨٪ مواد بروتينية ، ولذلك يعد غذاء مناسبا لمرضى البول السكرى ، ويستخرج من بذوره زيت عظيم القيمة ، يستعمل فى الطعام على نطاق واسع ، وخاصة فى عمل المسلى الصناعى (Margarine) ، كما يدخل أيضاً فى صناعة الشمع والصابون ومواد الطلاء والتشحيم والمبيدات الحشرية وغيرها .

الهياتوكسيلون (Haematoxylon campechianum) : ويستخرج من خشبه مادة الهياتوكسيلون التى تستعمل فى الصباغة ، وكذلك تزرع أشجاره كسياج حول الحدائق .

الفصيلة البقمية

نباتاتها أشجار أو شجيرات ، تحمل أوراقاً مركبة ريشية لها أذينات ، والنورة عادة عنقودية . وتضم الفصيلة البقمية بعض النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ومنها البوانسيانا (Poinciana regia) .

البوانسيانا :

تزرع أشجار البوانسيانا بكثرة فى شوارع القاهرة وغيرها من المدن ، وذلك للزينة والتظليل ، وتتساقط الأوراق فى الشتاء ، وهى مركبة ريشية متضاعفة ، وفى وقت الإزهار يغلب اللون الأحمر البرتقالى للأزهار على اللون الأخضر للأوراق . وتبدو الأشجار فى منظر جذاب يلفت الأنظار .

الزهرة : خنثى وحيدة التناظر محيطة المتاعية .

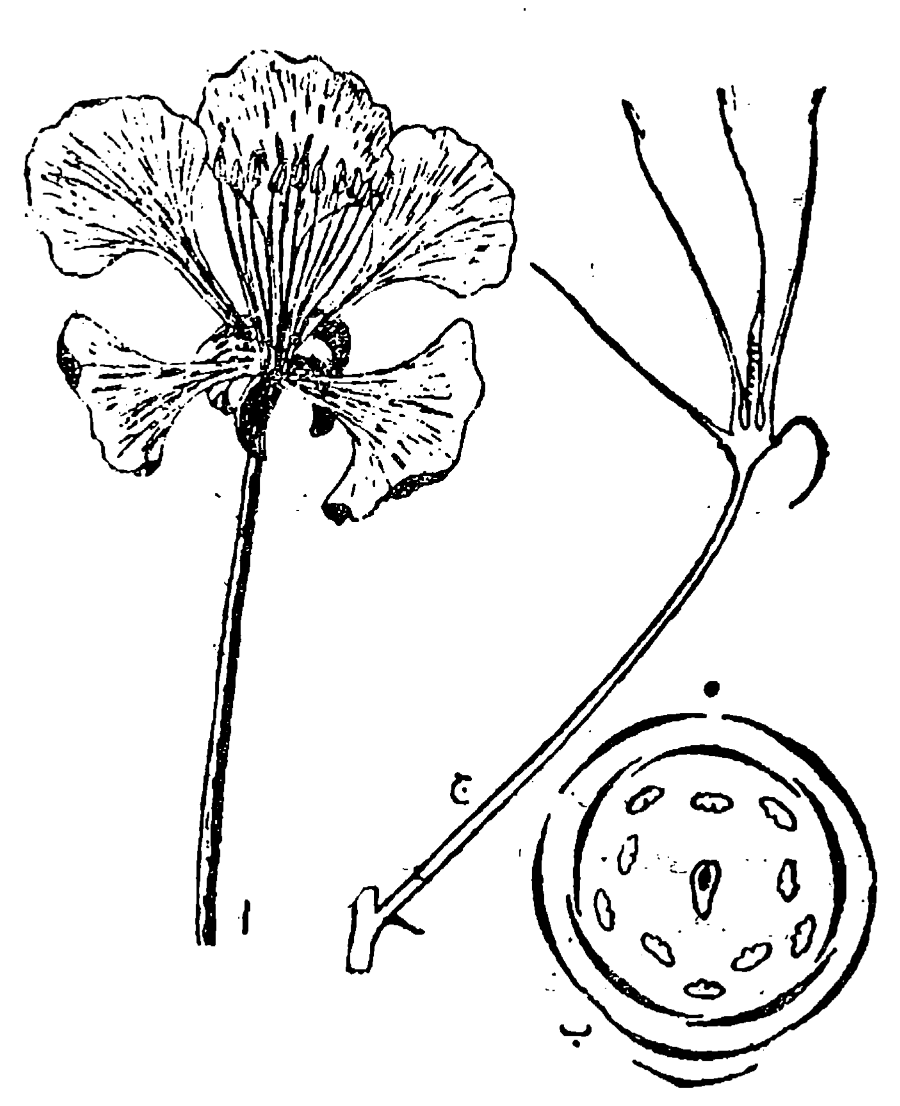
الكأس : يتركب من خمس سبلات منفصلة .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ، ومتراكبة تراكبا تصاعديا (شكل ٣٠٩ : ب) .

الطلع : يتركب من عشرة أسدية منفصلة ، فى محيطين ، وتتبادل الأسدية فى المحيط الخارجى مع البتلات (شكل ٣٠٩ : ب) .

المتاع : يتركب من كربلة واحدة ، والوضع المشيمى جدارى (شكل ٣٠٩ : ج) ، فيه تنتظم البويضات فى صفين متقابلين على الطراز البطنى للكربلة .

(شكل ٣٠٩)



القانون الزهرى ا ٠ ٥ ☿ ك ٥ ، ت ٥ ، ط ٥ + ٥ ، م ١

رتبة القرنيات ، الفصيلة البقمية ، البوانسيانا . (أ) منظر خارجى للزهرة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

الثمرة : قرنية (بقلاء) تحتوى على عدة بذور .

ويتبع الفصيلة البقمية نبات الخروب (Ceratonia siliqua) والتمرهندى (Tamarindus indica) ، وبعض نباتات الزينة مثل البوهينيا (Bauhinia) والبقم (Ceesalpinia) .

ومن النباتات الطبية السنامكى ، وتشمل أنواعا عديدة منها السنامكى الحجازى (Caesia acutifolia) والسنامكى الهنـــدى (Cassia angustifolia) وتستعمل بذورها وأوراقها طبيا كمسهل ، والخيار شنبر (Cassia fistula) وتستعمل ثمارها لنفس الغرض .

الفصيلة الطلحية

يكثر انتشار نباتات الفصيلة الطلحية فى المناطق الحارة ، ومعظمها أشجار أو شجيرات تحمل أوراقا مركبة ريشية ، وعادة يكون لها أذينات تتحور فى بعض النباتات إلى أشواك كما فى السنط (Acacia) .

السنط :

تحمل أشجار السنط أوراقا مركبة ريشية متضاعفة (شكل ٣١٠ : ا) ، لها أذينات متحورة إلى أشواك . وتنتظم الأزهار فى نورات غير محدودة على شمراخ كروى (شكل ٣١٠ : ب) ، والزهرة دقيقة الحجم خنثى منتظمة تحت متاعية أو محيطة المتاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة ، أطرافها متقابلة (شكل ٣١٠ : د) ويندر وجود أربع سبلات .

التويج : يتكون من خمس بتلات دقيقة ، أطرافها متقابلة ، وأحيانا تتحد عند القاعدة ، ونادراً ما يتكون التويج من أربع بتلات .

الطلع : يتركب غالباً من أسدية عديدة منفصلة لها خيوط طويلة (شكل ٣١٠ : ج) ، وفى بعض النباتات يتساوى عدد الأسدية مع عدد البتلات أو يكون ضعفها .

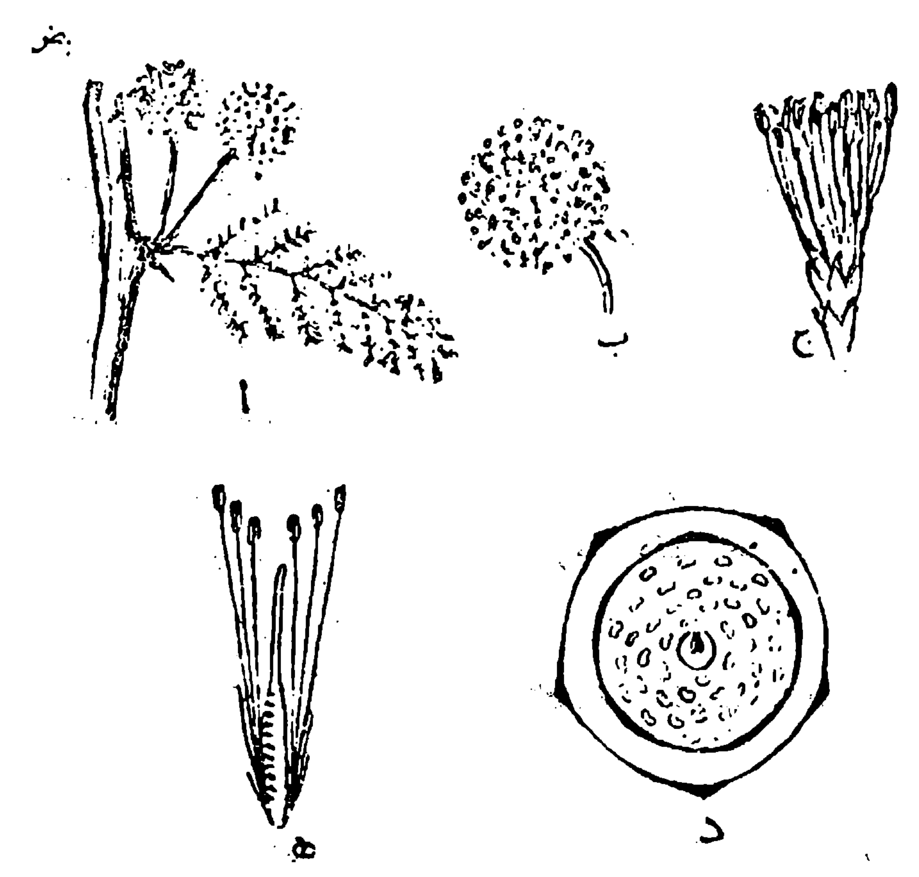
المتاع : يتركب من كربلة واحدة تحوى كثيراً من البويضات ، والوضع المشيمى جدارى (شكل ٣١٠ : هـ) .

الثمرة : قرنة (بقلاء) مستديرة المقطع ، بها عدة بذور ، وثمرة السنط قرظة (Lomentum) بها تخصرات تقسمها إلى أجزاء يحتوى كل منها على بذرة واحدة .

النباتات الإقتصادية :

السنط البلدى (Acacia arabica var. nilotica) : ويستعمل خشبه فى صنع النواعير « السواقى » ، وذلك لأنه يحتمل المياه مدة طويلة ، وتستخرج من قلفه مادة الدباغين (التانين) التى تستعمل فى الدباغة .

(شكل ٣١٠)



القانون الزهرى ⊕ ☿ ، ك (٥) ، ت (٥) ، ط ∞ ، م ١

رتبة القرنيات ، الفصيلة الطلحية ، السنط : (أ) جزء من فرع زهرى ، (ب) نورة ، (ج) منظر خارجى للزهرة ، (د) مسقط زهرى ، (هـ) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

القتاد (Acacia senegal) : ويستخرج منه الصمغ بعمل شقوق فى الجذع .

الفتنة (Acacia farnesiana) : وتستخرج من أزهارها زيوت عطرية

اللبخ (Albizzia lebbek) : كانت أشجاره تزرع بكثرة فيما مضى . للاستظلال ولاستغلال خشبها ، ولكن نظراً لإصابتها بآفة حشرية قلت زراعتها فى الوقت الحاضر .

رتبة الجارونيات

تشتمل رتبة الجارونيات (Geraniales) على ٢١ فصيلة ، منها الفصيلة الجيرونية (Geraniaceae) والفصيلة السذابية (Rutaceae) . وتتميز هذه الرتبة بأسديتها التى تبلغ فى عددها عدد السبلات وبانتظامها فى محيطين ، وفى بعض الأحيان ينعدم المحيط الخارجى . ويتركب المتاع من كرابل ملتحمة تعلوها أقلام مستديمة . والبذرة فى هذه الرتبة إندوسبرمية .

الفصيلة الجيرونية

تضم الفصيلة الجيرونية (Geraniaceae) ما يقرب من ١١ جنساً ، ٨٥٠ نوعا منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وغالبية النباتات التابعة لهذه الفصيلة عشبية ذات سيقان غضة تغطى سطحها شعيرات ، ومن نباتات الزينة الشائعة نبات الجيرونية .

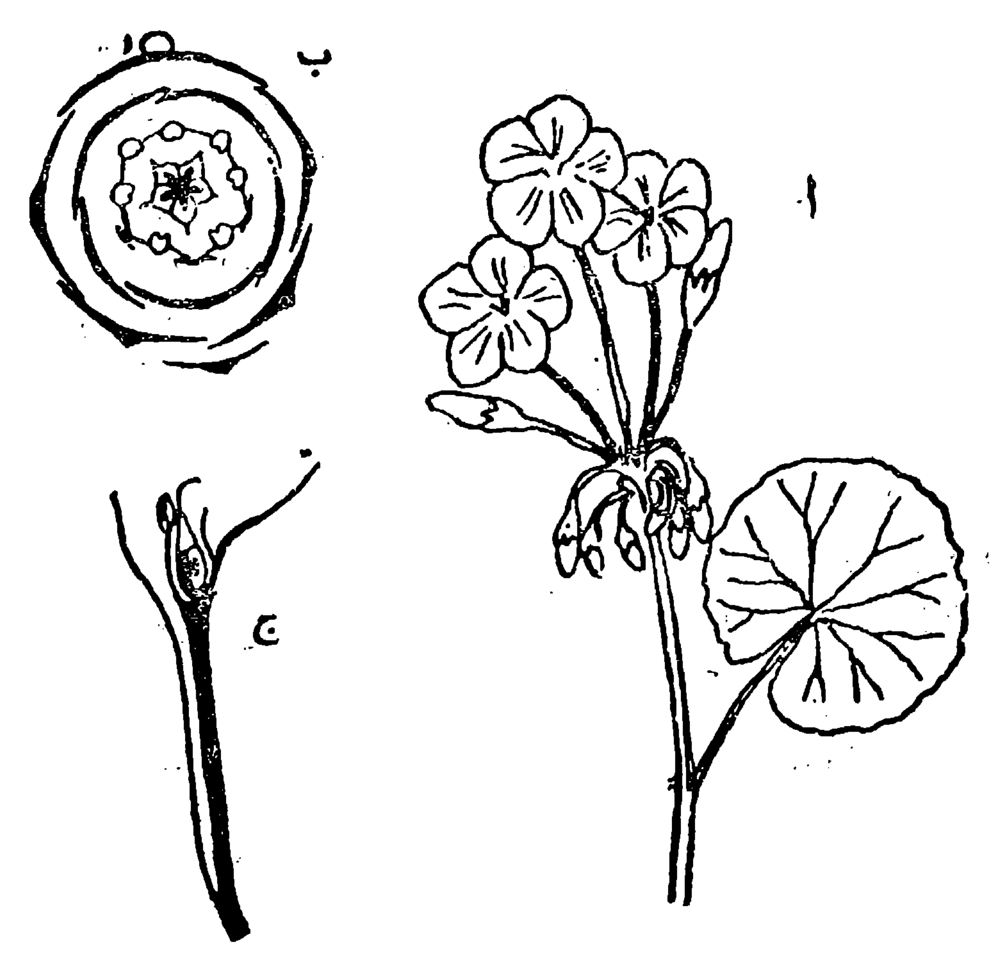
الجيرونية :

نبات الجيرونية (Pelargonium zonale) عشبى ، يحمل أوراقاً بسيطة نصلها قرصى الشكل . ويحمل النبات نورات شبيهة بالنورة المحدودة عديدة الشعب (شكل ٣١١ : ا) والزهرة خنثى وحيدة التناظر وتحت متاعية.

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة مستديمة ، وتمتد السبلة الخلفية إلى أسفل بمحاذاة العنق مكونة أنبوبة ضيقة (شكل ٣١١ : ج) .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ومتراكبة .

(شكل ٣١١)



القانون الزهرى : ·|· ، ☿ ، ك ٥ ، ت ٥ ، ط (٥+٥) ، م (٥)

- الفصيلة الجيرانية ، الجيرونية : (أ) جزء من النبات يحمل أزهاراً ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

الطلع : يتركب أصلا من عشرة أسدية اختزلت الثلاث الأمامية منها إلى حراشيف (شكل ٣١١ : ب) وتوجد الأسدية فى محيطين متبادلين ، وتقع الأسدية فى المحيط الخارجى مقابلة للبتلات (Obdiplostemonous)

المتاع : يتكون من خمس كرابل متحدة وخمس غرف بكل منها بويضة تنشأ على مشيمة محورية ، ويعلو المبيض قلم طويل على هيئة منقار ينتهى بخمسة مياسم .

الثمرة : منشقة .

نباتات الزينة :

العتر (Pelargonium graveolens) : نبات عشبي ذو رائحة زكية ، وتستخرج بعض الزيوت الطيارة منه ومن غيره من الأنواع .

وتضم الفصيلة بعض النباتات البرية التي تنمو بالمناطق الصحراوية والمناطق النباتية الأخرى ، مثل الجيرانيوم (Geranium) والدهمة (Erodium) والمنسونيا (Mensonia) .

الفصيلة السذابية

تضم الفصيلة السذابية (Rutaceae) مايقرب من ١٤٠ جنساً و ١٣٠٠ نوعا منتشرة في المناطق الحارة والمعتدلة . وتختلف النباتات بين الشجيرات والأشجار ، وتتميز بوجود غدد على هيئة نقط تعزى إليها الرائحة القوية التي تنبعث من النباتات ، وتحمل النباتات أوراقاً متبادلة أو متقابلة عديمة الأذينات مركبة عامة . وفي بعض النباتات تتحور الأوراق إلى أشواك . ومن بين النباتات الهامة التابعة لهذه الفصيلة الموالح مثل الليمون والنارنج والبرتقال واليوسفي .

البرتقال :

البرتقال (Citrus sinensis) نبات شجيري يحمل أوراقاً ذات نصل بسيط وعنق مجنح ، بينهما مفصل صغير ، ويعتبر الكثيرون وجود تلك العقلة دليلا على أن أوراق الموالح هي في حقيقة أمرها أوراقاً مركبة ريشية فردية ، ذات ثلاث وريقات ، قد نمت فيها الوريقة الطرفية نمواً طبيعياً بينما ضمرت الوريقتان الأخريتان وتحورتا إلى جناحين في قمة العنق . ويحمل النبات أزهاراً بيضاء ذات رائحة ذكية مميزة ، وهي خنثى منتظمة تحت متاعية (شكل ٣١٢ : ا) .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة (في بعض النباتات الأخرى تتكون من أربع سبلات) .

(شكل ٣١٢)



القانون الزهرى: ⊕ ، ☿ ، ك(٥) ، ت٥ ، ط∞ ، م(∞)

الفصيلة السذابية ، البرتقال : (أ) جزء من النبات يحمل أزهارا (ب) مسقط زهرى (جـ) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

التويج : يتكون من خمس بتلات سائبة (أو أربع فى بعض النباتات الأخرى) .

الطلع : يتركب من أسدية عديدة متحدة مع بعضها البعض فى حزم (شكل ٣١٢ : ب) وفى بعض النباتات الأخرى يتكون الطلع من عشرة أو ثمانى أسدية مرتبة فى محيطين ، وتقع أسدية المحيط الخارجى مقابلة للبتلات .

المتاع : علوى يتركب من كرابل عديدة وغرف مساوية لها فى العدد تحتوى كل غرفة منها على عدد من البويضات تنشأ على مشيمة محورية . ويقع المبيض فوق قرص رحيقى ، كما يعلوه قلم بسيط ينتهى بميسم فردى متفتح (شكل ٣١٢ : ب ، ج) ، وفى النباتات الأخرى يختلف المتاع فى تركيبه عنه فى البرتقال ، إذ يتركب من أربع أو خمس كرابل تنفصل عن بعضها البعض انفصالا جزئيا .

الثمرة : لبية في البرتقال ، ولكنها في النباتات الأخرى قد تكون منشقة أو حسلية أو علبة .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية التي تؤكل ثمارها وتستخرج منها بعض الزيوت الطيارة مثل البرتقال واليوسفي (Citrus reticulata) والليمون البلدى (Citrua aurantifolia) والليمون الأضاليا (Citrus limon) والنارنج (Citrus aurantium) .

النباتات الطبية :

باروزما بتيولينا (Barosma betulina) : وتستعمل أوراقه لإدرار البول في الأمراض المتعلقة بالأجهزة البولية .

بيلوكاربس الصغير الأوراق (Pilocarpus microphyllus) : يستخدم العقار المستخرج من الأوراق في علاج أمراض الكلى ، كما يستعمل كمدر للعاب ومنى ، ويستخدم أحد مكونات هذا العقار – وهو البيلوكاربين – في تضييق إنسان العين ، وهو بذلك يعتبر مضاداً لفعل الأتروبين .

الليمون الأضاليا : تستخدم الزيوت الطيارة المستخرجة من غلاف الثمرة الطازج في تحضير المواد العطرية ، كما أنها تكسب الطعام نكهة .

رتبة الخبازيات

تضم رتبة الخبازيات (Malvales) ثماني فصائل ، منها الفصيلة الخبازية (Malvaceae) ، وتتميز نباتاتها بسطحها الشعري وباحتوائها على مواد مخاطية في أنسجتها . والأزهار في هذه الرتبة خنثى منتظمة ، وكثيراً ما يكون ترتيب الغلاف الزهري خماسياً (Pentamerous) . وتتركب الكأس من خمس سبلات مصراعية ، كما يتكون الطلع من أسدية عديدة ، ويتكون المتاع من كرابل عديدة تنتظم فيها البويضات على مشيمة محورية

الفصيلة الخبازية

وتضم الفصيلة الخبازية (Malvaceae) حوالى ٨٢ جنساً و ١٥٠٠ نوعاً، يكثر انتشارها فى المناطق الحارة والمعتدلة . وتختلف النباتات فيما بينها ، فمنها الأعشاب والشجيرات والأشجار . والأوراق متبادلة ، ولها أذينات تسقط مبكرة فى معظم النباتات ، وهى إما بسيطة كاملة أو مفصصة ، والتعرق راحى .

ومن أهم الصفات التى تتميز بها هذه الفصيلة عصيرها المخاطى ، وهى تشمل بعض النباتات الاقتصادية وأهمها القطن ، كما تضم أيضاً بعض نباتات الزينة مثل الخطمية **(Althaea rosa)** .

الخطمية :

الخطمية نبات شجيرى من نباتات الزينة الهامة ، ويحمل أزهاراً تختلف ألوانها بين الأبيض والأحمر ، وهى خنثى منتظمة .

الكأس : توجد مجموعة من القنيبات فى محيط يقع خارج الكأس ، يعرف بفوق الكأس (Epicalyx) — (شكل ٣١٣ : أ) — ويتركب الكأس من خمس سبلات أطرافها متقابلة ومتحدة عند القاعدة .

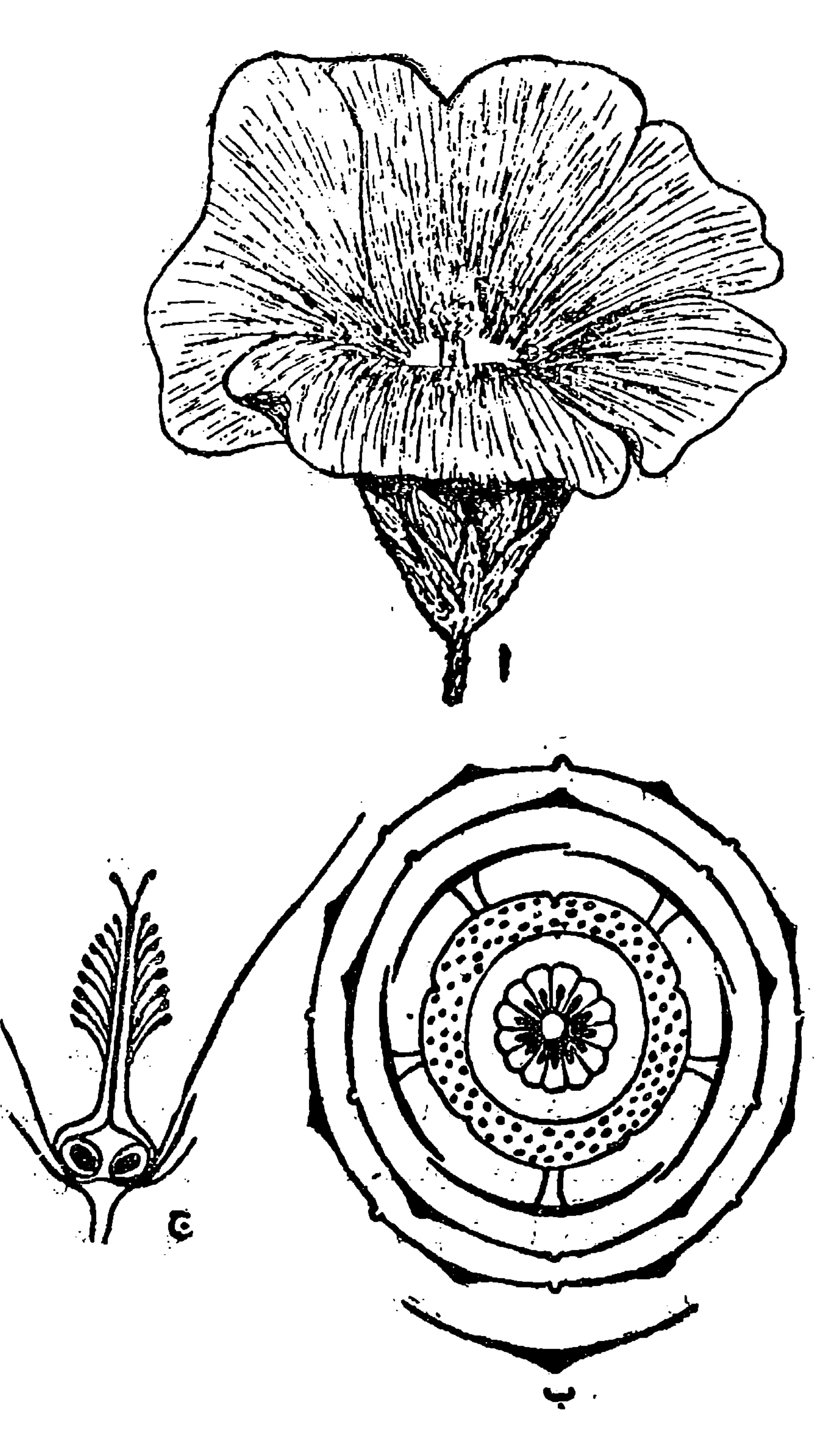
التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ، ملتفة التراكب وتتحد مع الأسدية (شكل ٣١٣ : ب) .

الطلع : الأسدية عديدة وتتحد مكونة أنبوبة سدائية (شكل ٣١٣ : ج) تخرج منها خيوط رفيعة تحمل كل منها متكا ، ويتكون من فص واحد ، وتحوى حبوب لقاح شوكية السطح .

المتاع : يتركب من عدة كرابل ملتحمة وعدد مساو من الغرف ، والمبيض علوى ، والوضع المشيمى محورى (شكل ٣١٣ : ب) وفى كل غرفة توجد بويضة واحدة ، أما الأقلام فمتحدة ، ويتساوى عدد المياسم مع عدد الكرابل .

الثمرة : منشقة .

(شكل ٣١٣)



الفصيلة الخبازية ، الخطمية : (ا) منظر خارجي للزهرة ، (ب مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولي مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

النباتات الاقتصادية :

القطن (Gossypium) : وهو من أهم النباتات الاقتصادية فى مصر، ويعتبر شعر القطن امتدادات لخلايا الطبقة الخارجية للقصرة ، ويعرف تجارياً باسم التيلة ، ويختلف طول التيلة ونعومتها فى الأصناف والسلالات المختلفة ، ويستخرج الزيت من البذور بعد عصرها ، أما ما يتبقى بعد العصر فيعرف بالكسب ، ويستعمل كعلف للماشية .

التيل (Hibiscus cannabinus) : وتستخرج الألياف منه ، وتستخدم فى صناعة بعض أنواع المنسوجات والحبال .

البامية (Hibiscus esculentus) : تطهى ثمارها ، وتستعمل غذاء للإنسان .

الخبيزة أو الخبازى (Malva sylvestris) : تطهى أوراقها ، وتستعمل غذاء للإنسان .

من نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات الهبسكوس ذو الأزهار الحمراء القطيفية (Hibiscus rosa sinensis) ونبات الأبوتيلون (Abutilon sinensis) وأزهاره حمراء جميلة أيضاً .

رتبة الجداريات

تشتمل رتبة الجداريات (Parietales) على ٣١ فصيلة ، منها الفصيلة البنفسجية (Violaceae) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهرى ذى الترتيب الخماسى والسبلات المتراكبة . ويتساوى عدد الأسدية مع عدد البتلات أو يزيد عليها . ويتركب المتاع من ثلاث كرابل وغرفة واحدة تحتوى على بويضات عديدة تنشأ على مشيمة جدارية . والبذور فى هذه الرتبة إندوسبرمية.

الفصيلة البنفسجية

تضم الفصيلة البنفسجية (Violaceae) ما يقرب من ١٦ جنساً و ٨٥ نوعاً منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وتختلف النباتات التابعة لهذه الفصيلة بين

الأعشاب والشجيرات والأشجار ، وتتمثل هذه الفصيلة بجنس واحد فى جمهورية مصر العربية يشتمل على البنفسج (Viola odorata) والبانسيه (Viola tricolor) وهما من نباتات الزينة الشائعة .

البانسيه :

البانسيه نبات عشبي يحمل أزهاراً جميلة وحيدة على الساق ، خنثى ، وحيدة التناظر وتحت متاعية (شكل ٣١٤ : ا) .

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة تمتد منها زوائد إلى أسفل تحت المستوى الذى تتصل عنده السبلات بالتخت (شكل ٣١٤ : ب ، ج) .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة غير متساوية ، وتستطيل البتلة الأمامية إلى مهماز أو جيب يتجمع فيه الرحيق (شكل ٣١٤ : ب ، ج) .

الطلع : يتكون من خمس أسدية متبادلة مع البتلات لها خيوط قصيرة ومتوك على هيئة مخروط يحيط بالمبيض ، ويمتد الرابطان فى المتكين الأماميين ويستطيلان ويكونان زائدتين تبرزان داخل المهماز (٣١٤ ب : ج) ، وتفرز الزائدتان مادة رحيقية شبيهة بالعسل تتجمع فى المهماز .

المتاع : يتكون من ثلاث كرابل ملتحمة وغرفة واحدة تحتوى على بويضات عديدة تنشأ على ثلاث مشيمات جدارية ، ويعلو المبيض قلم ينتهى بميسم كروى .

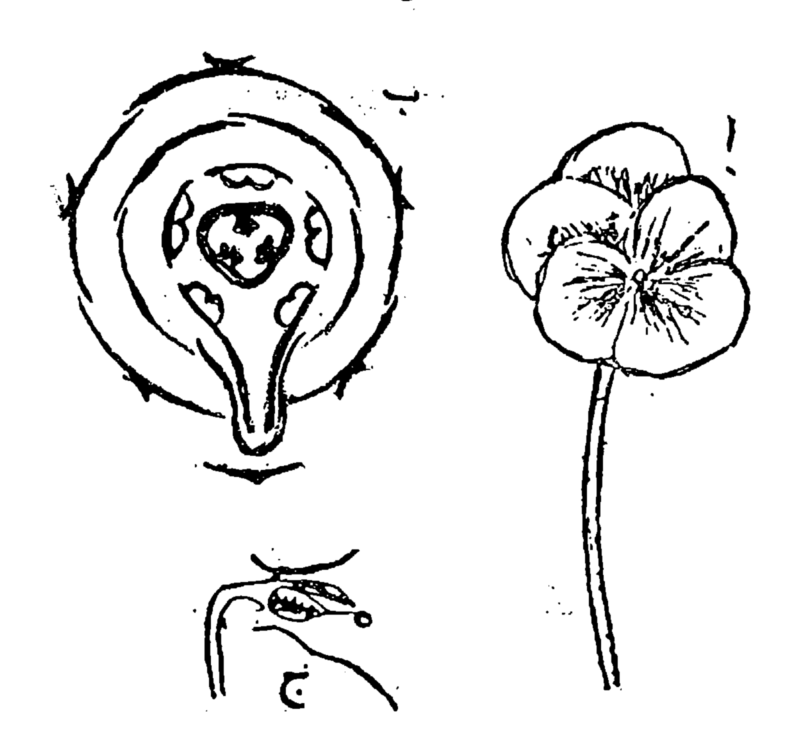
وتتميز زهرة البانسيه بطريقة خاصة فى التلقيح سبق شرحها فى باب التلقيح .

الثمرة : علبة تنفتح بالانشقاق الحاجزى إلى ثلاثة مصاريع .

رتبة الآسيات

تشتمل رتبة الآسيات (Myrtiflorae) على ٢٣ فصيلة من بينها الفصيلة الآسية (Myrtaceae) ، وتتميز هذه الرتبة بلحائها الداخلى وأزهارها ذات التحت الفنجانى الشكل الذى يتحد فى بعض الأحيان مع المبيض .

(شكل ٣١٤)



القانون الزهرى : ·|· ، ☿ ، ك٥ ، ت٥ ، ط٥ ، م(٣)

الفصيلة البنفسجية . البنفسج : (أ) الزهرة ، (ب) مسقط زهرى (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة

الفصيلة الآسية

تضم الفصيلة الآسية (Myrtaceae) ما يقرب من ٩٠ جنساً و ٢٨٠٠ نوعاً منتشرة فى المناطق الحارة . وتختلف النباتات بين الأشجار والشجيرات ، وتحمل أوراقاً متقابلة عادة وبسيطة جلدية غير مؤذنة ، وتتميز غالباً باحتوائها على غدد زيتية تكسبها رائحة خاصة تظهر بوضوح عند ضغط الأوراق بين الأصابع ، كما تحمل النباتات أيضاً أزهاراً تنتظم عادة فى نورات محدودة : ومن بين النباتات الشائعة التى تتبع هذه الفصيلة نبات الكافور .

الكافور :

تنتشر أشجار الكافور **(Encalyptus)** على جوانب الكثير من الطرق الزراعية بمصر وتصل الأشجار إلى ارتفاع كبير ، ويتضخم جذعها

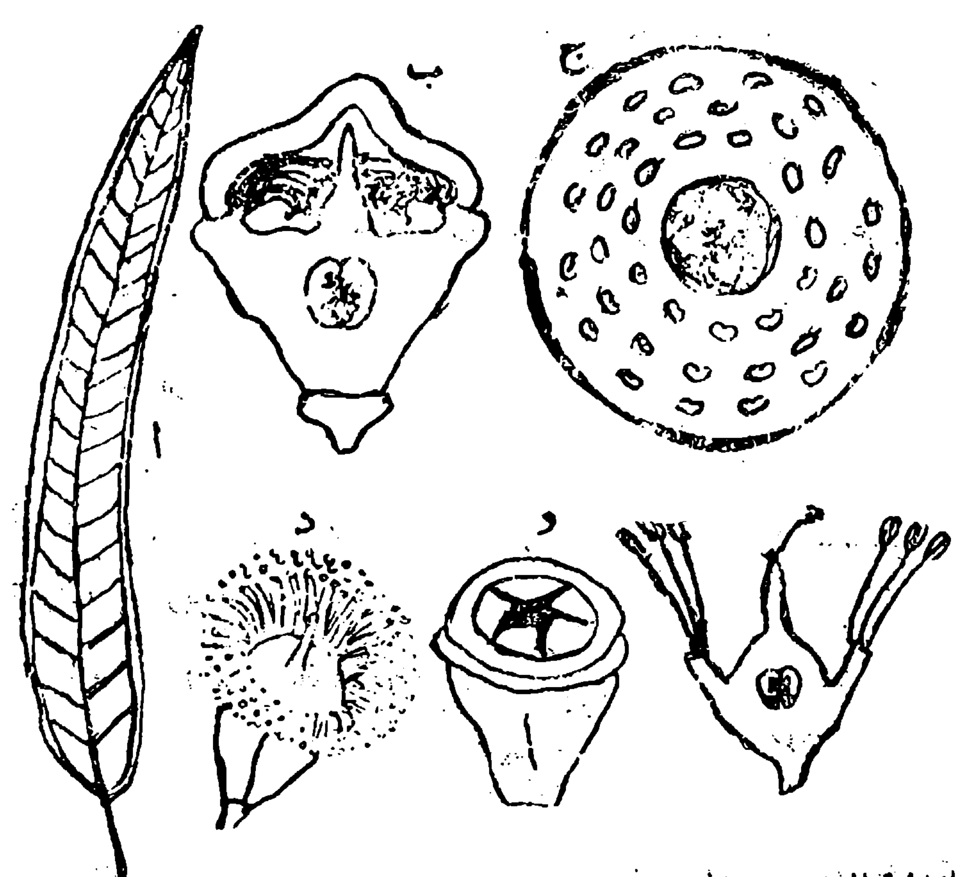
كثيراً ، وتحمل أوراقاً بسيطة جلدية رمحية الشكل (شكل ٣١٥ : ا) عديمة الأذينات ذات حافة كاملة ولها رائحة مميزة ، والأزهار خنثى منتظمة وفوق متاعية .

الكأس : السبلات مختزلة جداً ويمكن اعتبارها غير موجودة .

التويج : يتركب من خمس بتلات متحدة فى البرعم على هيئة غطاء مخروطى الشكل (شكل ٣١٥ : ب) لا يلبث أن يسقط فى الزهرة الناضجة .

الطلع : يتكون من أسدية عديدة منفصلة تنثنى للداخل فى البرعم الزهرى وتنفرد فى الزهرة الناضجة بعد سقوط التويج (شكل ٣١٥ : د) .

(شكل ٣١٥)



القانون الزهرى: ⊕ ، ☿ ، ك ، ت(٥) ، ط∞ ، م̅(٤)

الفصيلة الآسية : الكافور ، (ا) ورقة ، (ب) قطاع طولى فى برعم زهرى ، (ج) مسقط زهرى ، (د) زهرة ناضجة ، (هـ) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة ، (و) ثمرة

المتاع : سفلى ويتركب من أربع كرابل وأربع غرف ، تحتوى كل منها على عدد من البويضات تنشأ على مشيمة محورية (شكل ٣١٥ ج ، ﻫ) ، ويعلو المبيض قلم ينتهى بميسم واحد .

الثمرة : علبة (شكل ٣١٥ : و) .

النباتات الطبية :

القرنفل (Syzgium aromaticum) **:** تستخدم البراعم الزهرية الجافة كمنبه عطرى وفى تحضير أحد الزيوت الطيارة . كما تعتبر أيضاً من التوابل الهامة .

الكافور : يستخدم الزيت المستخرج من تقطير الأوراق فى بعض أنواع الكافور كمطهر للوقاية من بعض الأمراض مثل الأنفلونزا والالتهابات الشعبية .

ومن النباتات الاقتصادية التابعة لهذه الفصيلة الجوافة (Psidium guajava) وهى من أشجار الفاكهة المنتشرة فى مصر ، وتحتوى أوراقها على مادة مضادة للميكروبات .

نباتات الزينة :

كالليستيمون (Callistemon) : وفيه يمتد محور النورة إلى أعلى ويحمل أوراقاً فوق مستوى الأزهار ، وتبدو النورة كلها كالفرجون المستعمل فى تنظيف القوارير .

الميرتس (Myrtus communis) .

رتبة الخيميات

تضم الخيميات (Umbelliflorae) ثلاث فصائل ، منها الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) . وتتميز هذه الرتبة بنوراتها الخيمية المركبة أو البسيطة ، وبأزهارها فوق المتاعية وبضمور بعض أجزائها الزهرية ، ويتركب متاعها من كربلتين تحتوى كل منهما على بويضة واحدة .

الفصيلة الخيمية

تضم الفصيـــلة الخيمية (Umbelliferae) ما يقرب من ١٢٥ جنساً و٢٩٠٠ نوعاً ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، والنباتات عشبية ، وتعمر لمدة حولين أو أكثر ، وللساق نخاع كبير ينكمش أو يجف عند النضج ، ومن ثم تصبح السلاميات مجوفة . والأوراق متبادلة غير مؤذنة ، وعنقها يغلف الساق ، والنصل غالباً مجزأ والنورة عادة خيمية مركبة ، ويوجد فى نهاية المحور الأصلى – عند بدء تفرعه – عدد من القنابات مكونة قلافة (Involucre) . وعند نهاية كل فرع من الفروع التى تخرج من المحور الأصلى توجد مجموعة من القنيبات عند قواعد الأزهار تعرف بالقليفة (Involucel). وسندرس على سبيل المثال نبات الشمر (Foeniculum vulgare) .

لشمر :

هو نبات عشبي يحمل أوراقاً مجزأة إلى أجزاء دقيقة (شكل ٣١٦ : ا) ، وأعناقها تلتف حول الساق والأزهار مرتبة فى نورات خيمية مركبة ، وهى منتظمة خنثى وفوق متاعبة .

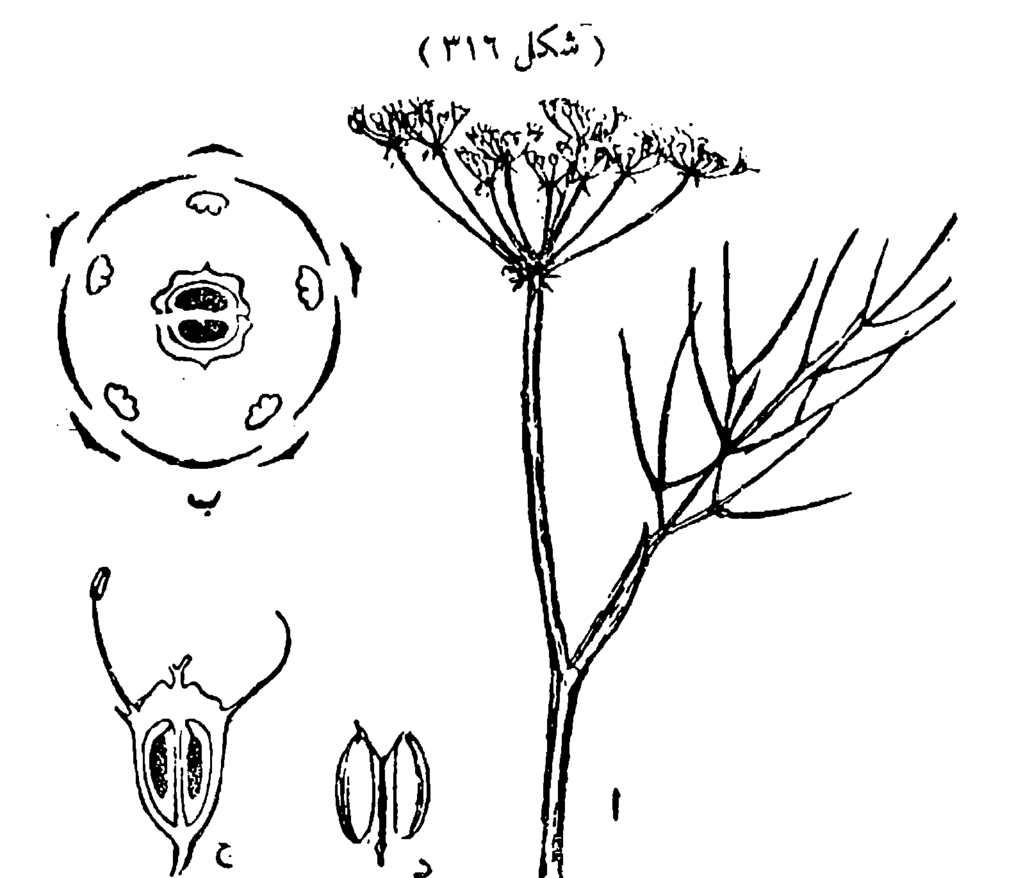
الكأس : تتركب من خمس سبلات منفصلة ، تصل فى ضآلة حجمها إلى حد كبير فتصبح على هيئة أسنان أو نتوءات ضامرة من البشرة الخارجية .

التويج : يتركب من خمس بتلات منفصلة ، وأطرافها منحنية للداخل .

الطلع : يتركب من خمس أسدية متبادلة مع البتلات ، تنحنى إلى الداخل فى البراعم ، وتنبسط فى الزهرة البالغة ، وتنشأ الأسدية على قرص رحيقى فوق متاعى (Epigynous disc) (شكل ٣١٦ : ب) .

المتاع : يتركب من كربلتين ملتحمتين فى غرفتين ، وتوجد بكل غرفة بويضة واحدة مقلوبة ومعلقة (شكل ٣١٦ : ج) والمبيض سفلى ، ويوجد بأعلى المبيض قرص رحيقى فوق متاعى ، يخرج منه قلمان قصيران .

(شكل ٣١٦)



القانون الزهرى ⊕ ، ☿ ، ك ٥ ، ت ٥ ، ط ٥ ، م̄ (٢)

الفصيلة الخيمية ، الشمر : (١) جزء من فرع ينتهى بنورة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة ، (د) الثمرة .

الثمرة : منشقة ، وتتكون من ثمرتين جزئيتين (Mericarps) ، وتحتوى كل منهما على بذرة واحدة . وفى بادىء الأمر يتصل هذان الجزءان بعنق رفيع يطلق عليه اسم حامل كربلى (Carpophore) . ويوجد على سطح غلاف الثمرة خمسة نتوءات إبتدائية . واحد ظهرى واثنان جانبيان ، ويوجد بين النتوء الظهرى وكل من النتوءين الجانبين نتوء متوسط ، وفى بعض النباتات يوجد بين النتوءات الابتدائية نتوءات أخرى ثانوية ، وفى البعض الآخر توجد فجوات زيتية فى الأنسجة التى تتوسط النتوءات ، وتبعاً لشكل هذه النتوءات وتوزيعها يمكن تمييز الأجناس المختلفة ، وللبذرة إندوسبرم غزير وجنين ضئيل وتتحد البذرة غالباً بغلاف الثمرة .

النباتات الاقتصادية :

تضم هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية التى تزرع بمصر وهى : الجـــزر (Daucus carota) ، والكراوية (Carum carvi) ، والكرفس (Apium graveolens) ، والبقـــدونس (Petroselinum sativum) ، والكزبرة (Coriandrum sativum) ، والشبت (Anethum graveolens) .

النباتات الطبية :

الخلة (Ammi visnaga) : اكتشف طبيبان مصريان مادة زيتية ، تعرف بالخلين . تستخرج من بذور هذا النبات . وتعالج بها الذبحة الصدرية ونوع من الأمراض الجلدية .

الينسون (Pimpinella anisum) : لثمار هذا النبات رائحة ومذاق مستحب لذلك تضاف إلى بعض المواد الطبية ، كما أن لها تأثيراً منبهاً طارداً للغازات .

رتبة الملتويات

تضم رتبة الملتويات (Contortae) ست فصائل من بينها الفصيلة الزيتونية (Oleaceae) والأبوسينية (Apocynaceae) . وتتميز هـــذه الـــرتبة عادة بأوراقها المتقابلة ، عديمة الأذينات ، البسيطة أو المركبة الريشية ، وبأزهارها الخنثى ذات البتلات الملتفة والأسدية فوق البتلية ، ويتركب المتاع فيها من كربلتين .

الفصيلة الزيتونية

تضم الفصيلة الزيتونية (Oleaceae) ما يقرب من ٢٢ جنساً و٥٠٠ نوعاً منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة الدافئة . وتختلف النباتات بين الأشجار والشجيرات ، وتحمل أوراقاً متقابلة ، عديمة الأذينات ، بسيطة أو مركبة ريشية ذات حافة كاملة ، ومن بين نباتات الزينة الشائعة نبات الياسمين .

الياسمين :

يعد الياسمين (**Jasminum grandiflorum**) من نباتات الأسوار الهامة ، وهو يحمل أوراقاً مركبة ريشية فردية (شكل ٣١٧ : ا) وأزهاراً بيضاء ذات رائحة زكية ، منتظمة ، خنثى ، تحت متاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة حوافها مصراعية غير متراكبة (شكل ٣١٧ : ب) .

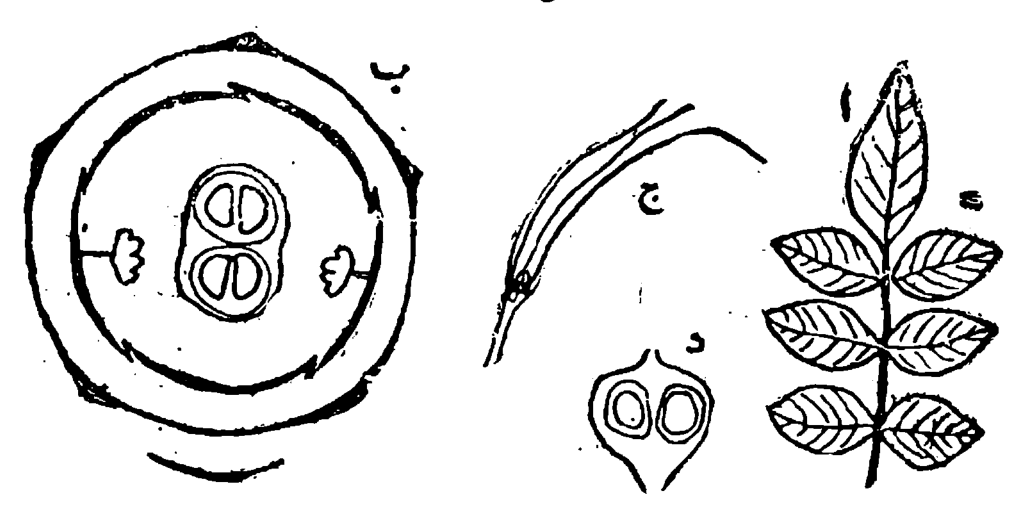
التويج : يتكون من خمس بتلات متراكبة وملتحمة على هيئة أنبوبة منحنية ذات أطراف متعامدة (شكل ٣١٧ : ج) .

الطلع : يتركب من سداتين فوق بتليتين فى وضع مستعرض ومتبادل مع الكرابل (شكل ٣١٧ : ب) .

المتاع : علوى يتركب من كربلتين متحدتين وغرفتين تحتوى كل منهما على بويضتين تنشآن على مشيمة محورية بالقرب من القاعدة (شكل ٣١٧ : ب) .

الثمرة : علبة .

(شكل ٣١٧)



القانون الزهرى : ⊕ ، ☿ ، ك(٥) ، ت(٥) ، ط ٢ ، م(٢)

العائلة الزيتونية ، الياسمين : (ا) ورقة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة ، (د) قطاع طولى فى المبيض .

النباتات الاقتصادية :

الزيتون (Olea europaea) : وتستعمل ثماره فى الطعام ، كما يستخرج منها الزيت بعصرها

الياسمين (Jasminum sambac) و (Jasminum grandiflorum) تستخرج من أزهاره زيوت عطرية .

الفصيلة الأبوسينية

تشمل الفصيلة الأبوسينية (Apocynaceae) حوالى ٣٠٠ جنس و١٤٠٠ نوع منتشرة فى جميع أنحاء العالم . وتختلف ما بين أشجار وشجيرات ملتفة وأعشاب ، وتتميز باحتواء أنسجتها على مواد لبنية وحزم وعائية ذات جانبين . وتحمل النباتات أوراقاً بسيطة مؤذنة ذات حافة كاملة . ومن بين نباتات الزينة الهامة التابعة لهذه الفصيلة الونكة .

الونـــكة :

الونكة (tVinca rosea) نبات عشبى يحمل أوراقاً بسيطة متقابلة وأزهاراً بيضاء أو وردية اللون ، خنثى ، منتظمة وتحت متاعية (شكل ٣١٨ : أ) .

الكأس : تتركب من خمس سبلات منفصلة (شكل ٣١٨ : ب) .

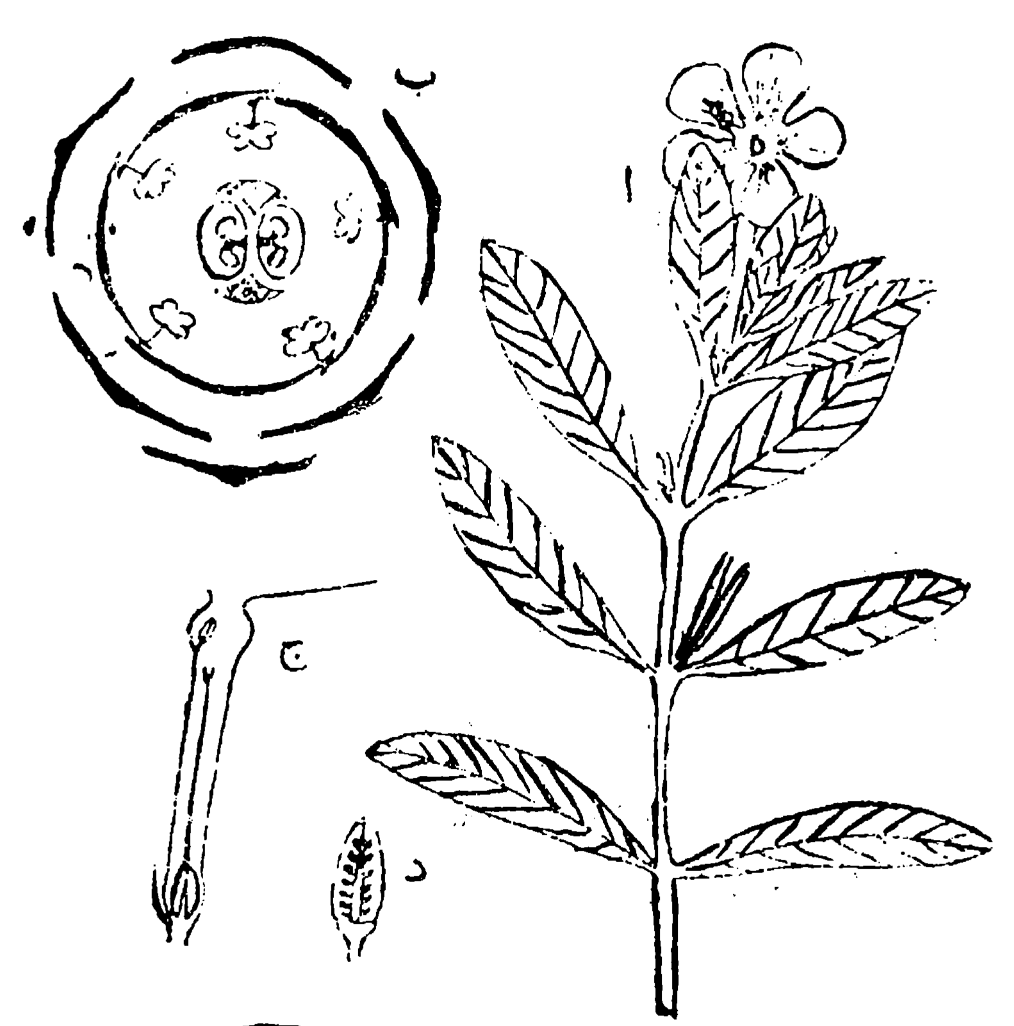
التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة وهى ملتفة فى البراعم ، ولكنها تنفرد فى الزهرة البالغة وتأخذ شكل الأنبوبة الضيقة ذات الأطراف المتعامدة . وتظهر زوائد على السطح الداخلى للبتلات فى كثير من النباتات مثل الدفلة .

الطلع : يتكون من خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل ٣١٨ : ب ، ج) ولكل سداة خيط قصير ومتك يستطيل فى بعض النباتات إلى زائدة .

المتاع : يتركب من كربلتين منفصلتين تتصلان بواسطة القلم ، كما يحتوى على غرفتين بكل منهما عدد من البويضات تنشأ على مشيمة جدارية (شكل ٣١٨ : د) والقلم بسيط ينتهى بميسم متضخم . ويتركب القرص الرحيق من فصين على الجانبين الأمامى والخلفى عند قاعدة المبيض .

الثمرة : متجمعة .

(شكل ٣١٨)



القانون الزهرى : ⊕ ، ☿ ، ك٥ ، ت(٥) ، ط٥ ، م(٢)

الفصيلة الأبوسينية . الونكة : (ا) جزء من فرع زهرى ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة ، (د) قطاع طولى فى المبيض .

نباتات الزينة :

تضم هذه الفصيلة عدداً من نباتات الزينة مثل الونكة والياسمين الهندى (Plumeria acutifolia) والبومنتيا (Beaumontia grandiflora) والتفتيا (Thevetia peruviana) .

تضم الفصيلة أيضاً بعض النباتات الاقتصادية مثل اللاندولفيا (Landolphia) وكيكسيا (Kickxia) ، وترجع أهمية هذه النباتات لاحتواء اللبن المستخرج منها على الكاوتشوك .

رتبة الأنبوبيات

تشتمل رتبة الأنبوبيات (Tubiflorae) على ٢٣ فصيلة من بينها الفصيلة العلاقية (Convolvulaceae) والوربانية (Verbenaceae) والشفوية (Labiatae) والباذنجانية (Solanaceae) وفصيلة حنك السبع (Scrophulariaceae) والبيجنونية (Bignoniaceae) . والأزهار فى هذه الرتبة إما منتظمة بها خمس أسدية أو وحيدة التناظر بها أربع أسدية أو اثنتان ، والأسدية فى جميع الحالات فوق بتلية ، والبتلات متحدة .

الفصيلة العلاقية

تشمل الفصيلة العلاقية (Convolvulaceae) حوالى خمسين جنساً وألف نوع ، منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة . ونباتات هذه الفصيلة إما أن تكون عشبية شجيرية ، ويندر أن تكون أشجاراً ، والكثير من هذه النباتات متسلقة ، وبعضها يحتوى على عصير لبنى . وتتميز نباتات هذه الفصيلة بوجود حزم وعائية ذات جانبين . والأوراق متبادلة عديمة الأذينات عادة ، وغالبية النباتات تحمل براعم مساعدة ، ويتركب شمراخ النورة عادة من عدد من المفاصل . وتشتمل هذه الفصيلة على بعض النباتات البرية وبعض نباتات الزينة مثل الإيبوميا (Ipomoea) .

الأيبوميا :

نبات متسلق يعد من نباتات الزينة الهامة ، ويحمل أزهاراً كبيرة الحجم زرقاء اللون ، خنثى ومنتظمة وتحت متاعية .

الكأس : تتركب عادة من خمس سبلات سائبة .

التويج : يتركب من خمس بتلات متحدة ، حوافها غير متراكبة ، ولكنها منثنية إلى الداخل (Induplicate) وملتفة فى البراعم (شكل ٣١٩ : ب) .

الطلع : يتركب فى خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل ٣١٩ : ب ، ج) .

المتاع : يتركب من كربلتين أو ثلاث كرابل (شكل ٣١٩ : ب) ملتحمة ، والمبيض علوى ويقع فوق قرص رحيق ، ويتركب من عدد من الغرف مساو لعدد الكرابل ، وتحتوى كل غرفة على بويضتين ، والوضع المشيمى محورى قاعدى (شكل ٣١٩ : د) ، والقلم خيطى بسيط ، وينتهى بميسم منتفخ .

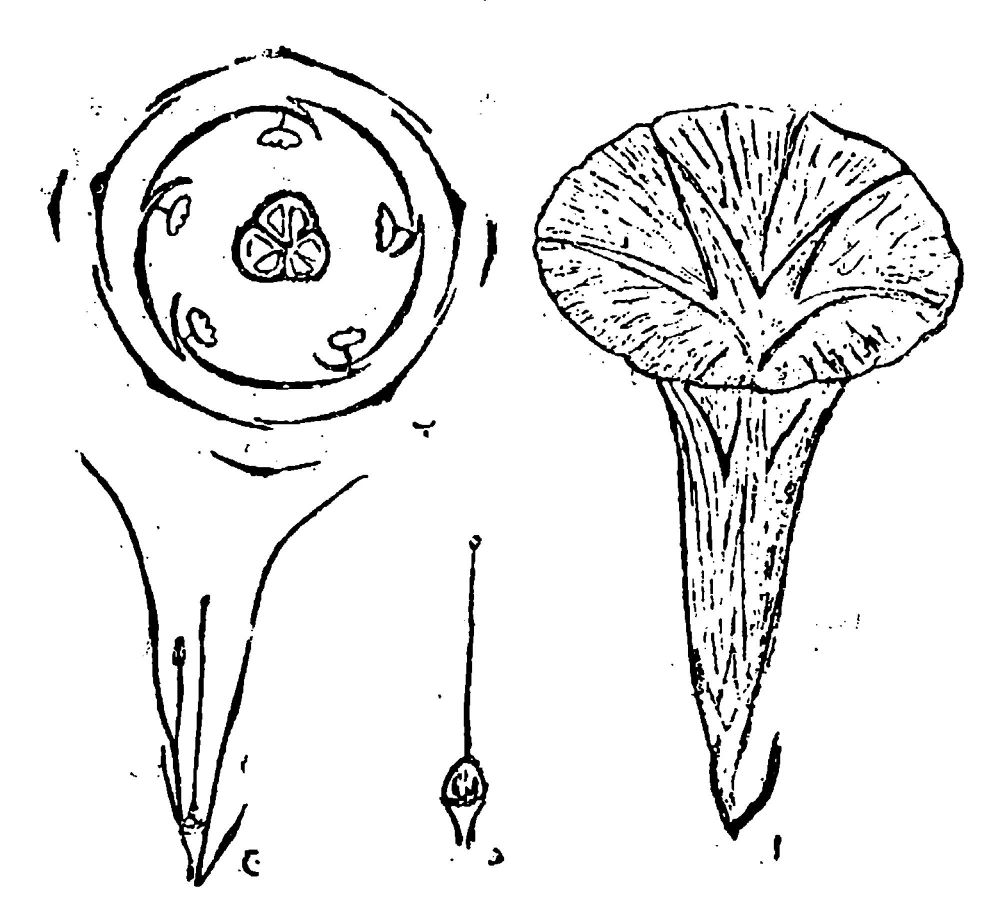
الثمرة : علبة

تضم هذه الفصيلة عدداً من نباتات الزينة والنباتا البرية ، وينتمى نبات البطاطا (Ipomoea batatas) إلى هذه الفصيلة ، وجذوره الجانبية درنية ، وتستعمل كغذاء لاحتوائها على نسبة كبيرة من النشا والمواد السكريه . وتستغل تجارياً كمصدر للنشا .

ومن بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نباتات أرجيريا (**Argyreia speciosa**) ، وهو نبات متسلق يحمل أوراقاً كبيرة تغطى سطحها السفلى شعيرات تجعل ملمسه حريريا ، ونبات ست الحسن (**Ipomoea carica**) ، ويستعمل نبات (**Ipomoea pea-carpae**) فى تثبيت الغرود الرملية .

ومن النباتات البرية ما يأتى :

(شكل ٣١٩)



الفانون الزهرى : ⊕ ☿ ، ك ٥ ، ت(٥) ، ط ٥ ، ٢(٣)

الفصيلة العلاقية ، أيبوميا : (ا) منظر خارجي للزهرة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة ، (د) المتاع فوق القرص الرحيقى .

الحامول (Cuscuta) : الذى يعيش متطفلا على بعض نباتات المحاصيل مثل البرسيم .

العليق (Convolvulus arvensis) : ويكثر انتشاره بين النباتات المنزرعة فى الحقول ، وأزهاره بيضاء .

الندو (Cressa cretica) : وهو من النباتات كثيرة الانتشار فى الأراضى الملحية ، وتوجد عليه كروس اسيدية لبعض فطريات الصدأ ، ولم تتحدد الصلة بعد بين هذا الطور الأسيدى وبين الأطوار الأخرى فى فطريات الصدأ المعروفة .

الفصيلة الوربانية

تضم الفصيلة الوربانية (Verbenaceae) ما يقرب من ٩٨ جنساً و ٢٦١٤ نوعاً منتشرة فى المناطق الحارة وشبه الحارة . وتختلف النباتات التابعة لهذه الفصيلة بين العشبية والشجيرية والشجرية . والغالبية فى هذه النباتات متسلقة . وتتميز بسيقانها المربعة المقطع ، وهى تحمل أوراقاً بسيطة غالباً غير مؤذنة ، وعادة تكون متقابلة فى وضعها ونادراً ما تكون سوارية ، وتشتمل هذه الفصيلة على عدد من نباتات الزينة منها الدورانتا .

الدورانتا :

نبات الدورانتا (Duranta) شجيرى يزرع على الأسوار ويحمل أوراقاً بسيطة متقابلة ومسننة الحافة . والنورات عنقودية (شكل ٣٢٠) وتتركب من أزهار بنفسجية اللون خنثى وحيدة التناظر .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة ومستديمة .

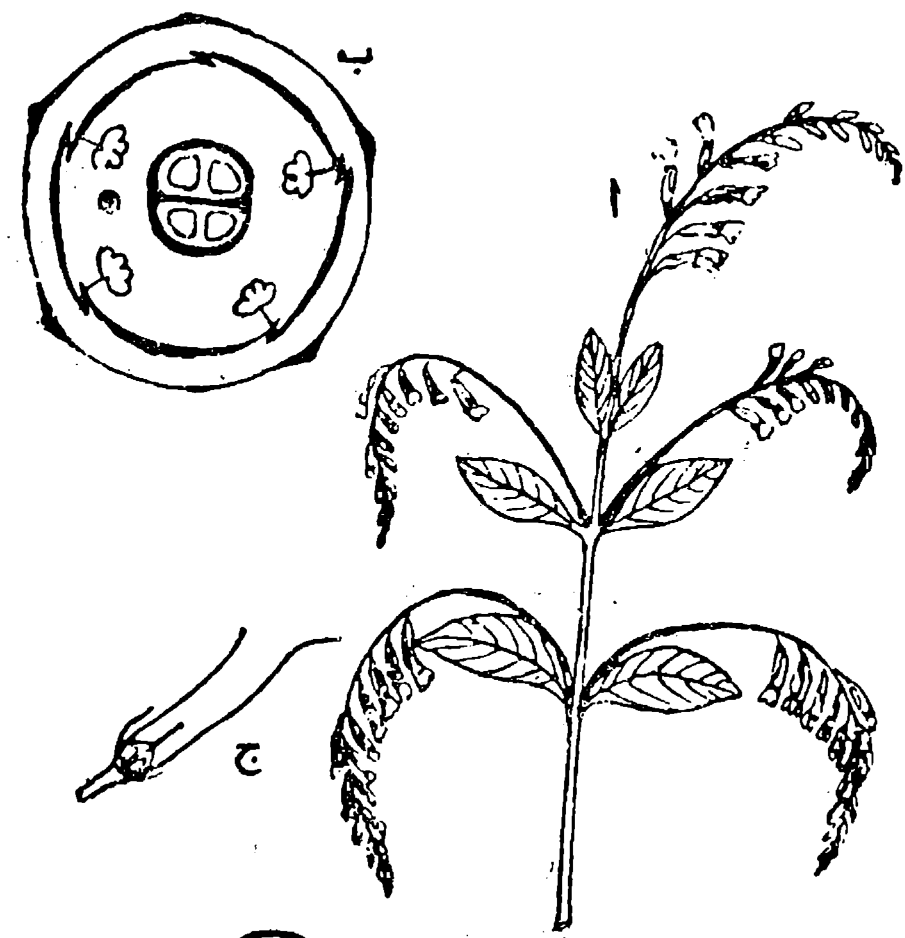
التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة ذات شفتين ، وعندما تتفتح الزهرة يأخذ التويج شكل الأنبوبة الضيقة ذات الأطراف المتعامدة (Salverform) .

الطلع : يتركب من أربع أسدية (ونادراً ما يتكون من سداتين أو خمس فى بعض النباتات) اثنتان منها طويلتان والأخريان قصيرتان (Didynamous) وهى متبادلة مع البتلات (شكل ٣٢٠ : ب) .

المتاع : علوى يتركب من كربلتين ملتحمتين وغرفتين بكل منهما بويضتان (فى بعض النباتات يظهر حاجز كاذب فى كل كربلة ، يقسمها إلى غرفتين) . وتنشأ البويضات على مشيمة مركزية عند القاعدة . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بميسمين (شكلى ٣٢٠ : ب ، ج) .

الثمرة : حسلية .

(شكل ٣٢٠)



القانون الزهرى : ·|· ، ⚥ ، ك (٥) ، ت (٥) ، ط ٤ ، م (٢)

الفصيلة الوربانية ، الدورانتا : (ا) جزء من النبات يحمل ازهارا ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة

نباتات الزينة :

تشتمل هذه الفصيلة على بعض نباتات الزينة الشائعة عدا الدورانتا مثل اللانتانا (Lantana camara) والياسمين الزفر (Clerodendron inerme) والفربينا المهجنة (Verbena hybrida) .

ويتبع نبات الليبيا (Lippia nodiflora) هذه الفصيلة ، وهو نبات برى ينتشر على شواطئ القنوات كما يزرع فى المسطحات الخضراء . ومن بين نباتات هذه الفصيلة نبات الشورة (Avicennia) ، وهو من الأشجار الشائعة

التى تنمو فى بعض جزر البحر الأحمر بالقرب من الغردقة ، ويتميز بجذوره التنفسية .

الفصيلة الشفوية

تضم الفصيلة الشفوية (Labiatae) ما يقرب من ٢٠٠ جنس و ٣٢٠٠ نوع ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم وخاصة فى إقليم البحر الأبيض المتوسط . وهى إما عشبية أو تحت شجيرية ، وتتميز سيقانها بمقطعها المربع ، وتحمل أوراقاً متقابلة أو محيطية ، عديمة الأذينات وتغطيها شعيرات ، ويتميز كثير من النباتات برائحة خاصة ، يرجع وجودها لغدد من البشرة تفرز زيوتاً طيارة .

وتتكون النورة فى البداية من عنقود يحمل فروعاً تتركب من نورات محدودة ثنائية الشعب ، وتنتهى هذه بنورات محدودة قوقعية ، وفى معظم نباتات هذه الفصيلة تتزاحم الأزهار وتصبح جالسة ، وعندكل عقدة تتجاور النورتان ثنائيتا الشعب الخارجتان من إبط الورقتين المتقابلتين ، ومن ثم تبدو الأزهار كأنها فى محيط واحد (Verticillaster) .

وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية ، وبعض نباتات الزينة مثل السلفيا (Salvia) .

السلفيا :

نبات تحت شجيرى ، يحمل أوراقاً متقابلة ومتعامدة وأزهاراً حمراء تنتظم على محور وتتدرج فى الكبر كلما اتجهنا إلى أسفل ، وتخرج عندكل عقدة نورتان محدودتان ثنائيتا الشعب متقابلتان (شكل ٣٢١ : ا) . ونظراً لتزاحم الأزهار عندكل عقدة تبدو وكأنها فى محيط واحد ، وهى خنثى وحيدة التناظر وتحت متاعية .

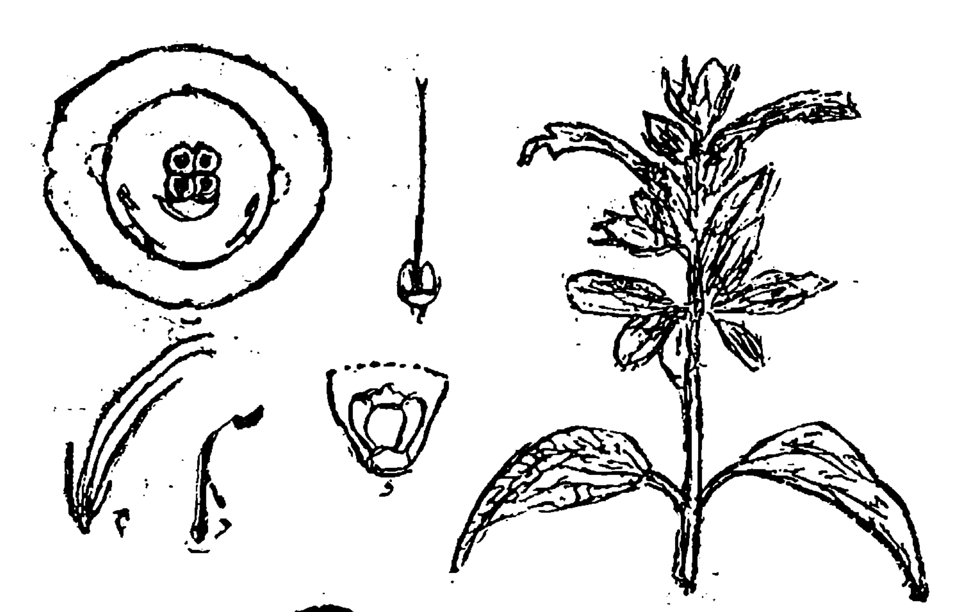
الكأس : حمراء اللون ، وتتركب من خمس سبلات ملتحمة ومستديمة على هيئة شفتين ، العليا من ثلاث سبلات ، والسفلى من سبلتين (شكل ٣٢١ : ب)

التويج : أنبوبى الشكل ويتكون من شفتين ، العليا تتركب من بتلتين والسفلى من ثلاث بتلات ، وتتحد البتلات جميعاً (شكل ٣٢١ : ب) .

الطلع : يتركب من سداتين أماميتين فوق بتليتين ، ويستطيل الموصل فيهما فيفصل فصى المتك بعيداً ويظهر الفص الأمامى ضامراً ، ويتحرك الموصل فوق الخيط (شكل ٣٢١ : د) ، وبذلك يشبه الرافعة .

المتاع : يتركب من كربلتين متحدتين والمبيض علوى ، ويوجد أسفله قرص رحيقى (شكل ٣٢١ : هـ) . وعندما يأخذ فى النضج يمتد نتوء داخل كل كربلة ويقسمها إلى غرفتين ، وبذلك يصبح المبيض فى الزهرة الناضجة مكوناً من أربع غرف ، وحينئذ ينشأ القلم من قاعدة المبيض (Gynobasic) وتحتوى كل غرفة ناشئة على بويضة واحدة تخرج من قاعدة المبيض بالقرب من المركز ، ويتركب الميسم من فصين .

(شكل ٣٢١)



القانون الزهرى : ا.١٠ ⚥ ، ك (٥) ، ت (٥) ، ط ٢ ، ٢ م (٢)

الفصيلة الشفوية ، السلفيا : (ا) جزء من فرع زهرى ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة . (د) سداة ، (هـ) المتاع فوق القرص الرحيقى . (و) الثمرة .

الثمرة : متجمعة ، تتركب من أربع بنيدقات (Nutlets) يضمها الكأس المستديم (شكل ٣٢١ : و) .

النباتات الاقتصادية : تشتمل هذه الفصيلة على عدد من النباتات الاقتصادية منها :

النعناع (Mentha piperita) : ويستخرج منه زيت عطرى .

اللفانديولا (Lavandula offcinalis) : ويستخرج منه زيت عطرى (Lavander) ، وذلك بتقطير أزهاره الطازجة .

ومن بين النباتات التابعة لهذه الفصيلة أيضاً الريحان (Ocimum basilicum) وحصا البان (Rosmarinus officinalis) والبردقوش (Origanum majorana) ويستعمل الإثنان الأخيران كتوابل .

الفصيلة الباذنجانية

تضم الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) حوالى ٨٥٠ جنساً و ٣٢٠٠ نوعاً ، منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة ، وتتميز نباتات هذه الفصيلة بحزمها الوعائية ذات الجانبين ، وهى إما أن تكون أعشاباً أو شجيرات أو أشجاراً ، وتحمل أوراقاً متبادلة ولكنها متقابلة فى الجزء المزهر من الساق ، وهى بسيطة عديمة الأذينات ، والأزهار إما منفردة أو مرتبة فى نورة محدودة ، وتضم هذه الفصيلة كثيراً من النباتات الاقتصادية والطبية ونباتات الزينة مثل البيتونيا (Petunia) .

البيتونيا :

يعد هذا النبات من أهم نباتات الزينة التى تكثر زراعتها فى مصر ، وهو نبات عشبى حولى ، يحمل أزهاراً تتباين فى ألوانها ، وهى خنثى منتظمة ، ويمكن إعتبارها وحيدة التناظر قليلا وتحت متاغية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة .

التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة ومنثنية إلى الداخل وملتفة فى البرعم ، وعندما يتم نضج الزهرة تنفرد البتلات ويأخذ التويج شكل القمع (شكل ٣٢٢ : ا) .

الطلع : يتركب من خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل ٣٢٢ : ب ، ج) .

المتاع : يتركب من كربلتين متحدتين ، والمبيض علوى فوق قرص رحيق . ويتركب من غرفتين فى وضع مائل ، والبويضات عديدة وتتصل بمشيمة محورية غليظة (شكل ٣٢٢ : ب ، ج) ، والقلم بسيط وينتهى بميسم ذى فصين .

الثمرة : علبة .

النباتات الاقتصادية: تضم هذه الفصيلة عدداً وافراً من النباتات الاقتصادية منها البطاطس **(Solanum tuberosum)** والطماطم **(Solanum lycopersicum)** والباذنجان **(Solanum melongena)** ، والتبغ **(Nicotiana tabacum)** والفلفل الأحمر **(Capsicum annuum)** .

النباتات الطبية :

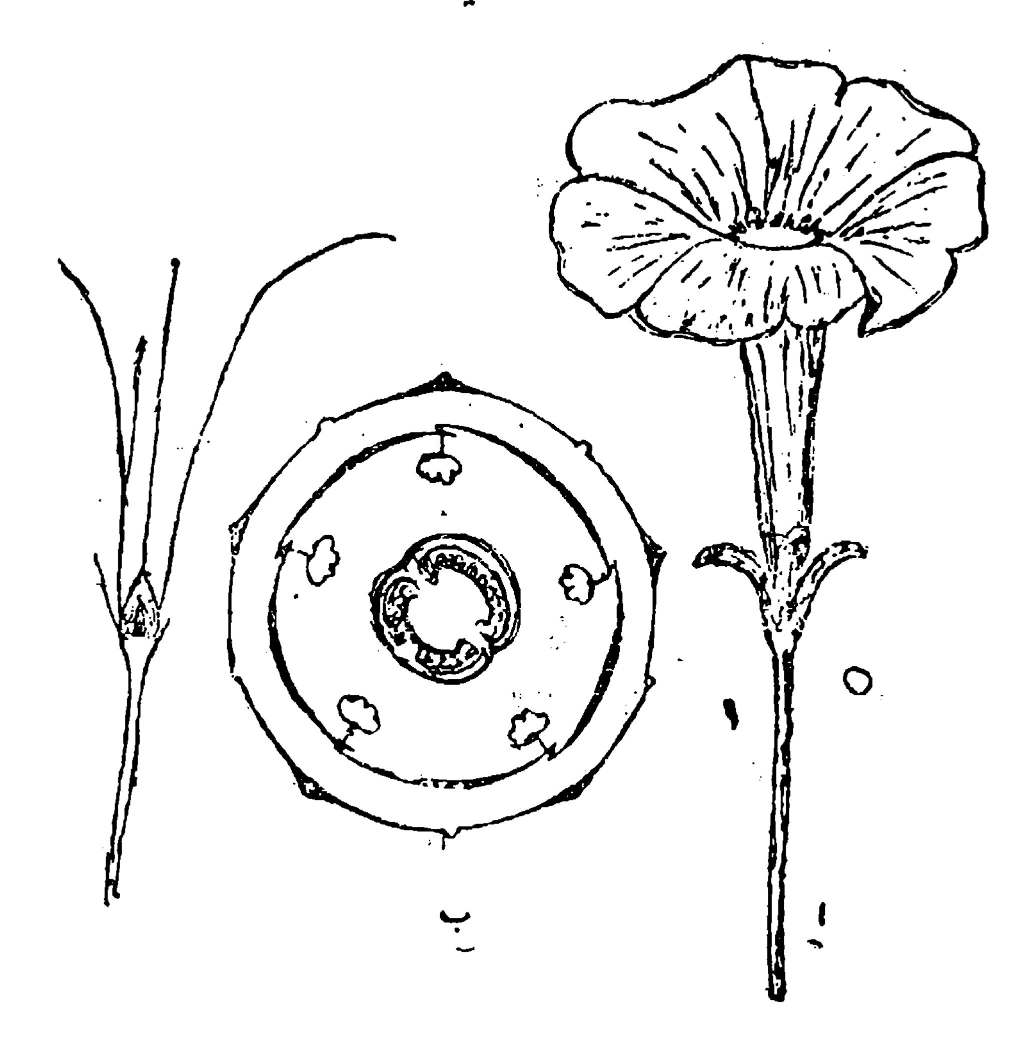
البلادونا **(Atropa belladonna)** : وتستخرج من أوراقها الجافة وبعض أجزائها الهوائية المادة الطبية المعروفة باسم البلادونا (Belladona) التى تستعمل لتهدئة الأعصاب، وكذلك مادة الأتروبين (Atropine) التى تستعمل فى توسيع حدقة العين .

الداتورة **(Datura stramonium)** : وتستخدم أوراقها فى علاج الربو ، وتستخرج من الداتورة أيضاً مادة الأتروبين ، وكذلك الهيوسين (Hyoscine) الذى يستعمل كمنوم .

السكران **(Hyoscyamus muticus)** : وتستخرج منه مادة طبية شبيهة بالمواد التى تستخرج من البلادونا والداتورة ، ولكنها أقل تأثيرا .

الفلفل : وهناك نوع من الفلفل **(Capsicum minimum)** يستخرج منه مادة طبية تسمى كابسيسين (Capsicin) تستعمل فى علاج اللمباجو والروماتيزم .

(شكل ٣٢٢)



القانون الزهرى ⊕ ، ☿ ، ك(٥) ، ت(٥) ، ط ٥ ، م(٢)

الفصيلة الباذنجانية ، البيتونيا : (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة.

فصيلة حنك السبع

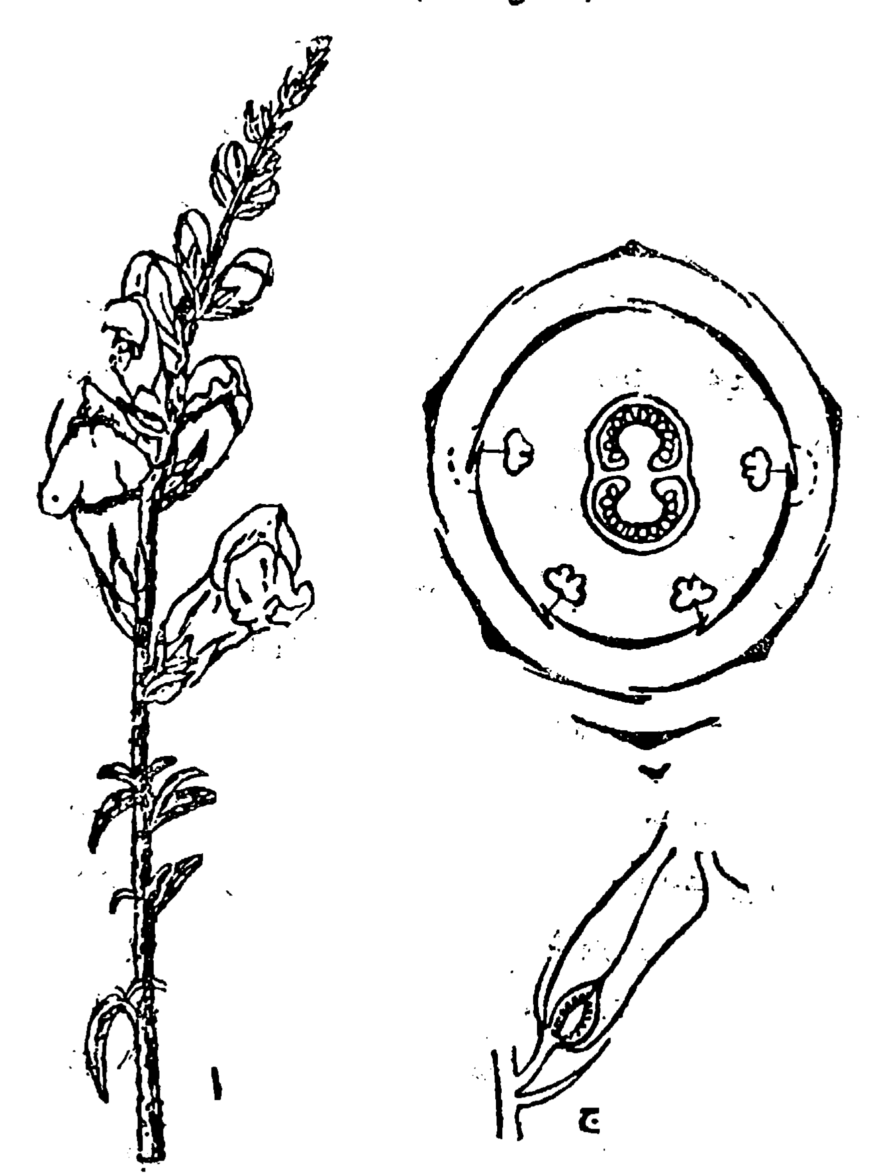
تضم فصيلة حنك السبع (Scrophulariaceae) ما يقرب من ٢٠٠ جنس و ٣٦٠٠ نوع ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وغالبية هذه النباتات أعشاب وتحت شجيرات ، وقليل منها شجيرات أو أشجار ، وتحمل أوراقاً متبادلة أو متقابلة ، وفى بعض الأحيان محيطية ، وهى عديمة الأذينات بسيطة ، وحافتها كاملة ، أو مفصصة ، ومن أهم نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات حنك السبع (Antirrhinum majus) .

حنك السبع :

نبات عشبى يحمل أوراقاً بسيطة متبادلة وأزهاراً تنتظم فى نورات عنقودية بسيطة (شكل ٣٢٣ : ١) ، وهى خنثى وحيدة التناظر وتحت متاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة .

(شكل ٣٢٣)



القانون الزهرى : ⁞ ، ⚥ ، ك ٥ ، ت (٥) ، ط ٤ ، م (٢) ٢

فصيلة حنك السبع : نبات حنك السبع . (ا) جزء من فرع زهرى ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

التويج : يتركب من خمس بتلات متحدة تأخذ شكل الشفتين ، وتتكون الشفة العليا من بتلتين والسفلى من ثلاث (شكل ٣٢٣ : ب) .

الطلع : يتركب من أربع أسدية فوق بتلية ، اثنتـان منها طويلتان والأخريتان قصيرتان (Didynamous) .

المتاع : يتركب من كربلتين متحدتين فى وضع وسطى ، وليس مائلا كما فى الفصيلة الباذنجانية ، والمبيض علوى — ويوجد فوق قرص رحيق — ويتكون من غرفتين ، تشتمل كل منهما على عدد من البويضات تنشأ على مشيمة محورية سميكة (شكل ٣٢٣ : ب ، ج) ، ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بميسم مكون من فصين .

الثمرة : علبة ، تحاط من أسفل بالكأس المستديم .

ومن أهم النباتات الطبية التابعة لهذه الفصيلة نبات الديجيتاليس (Digitalis purpurea) ، ويستحضر من أوراقه الجافة عقـار الديجيتالين (Digitalin) الذى يستخدم فى علاج أمراض القلب كمنبه ومقوى .

ومن نباتات الزينة الشائعة — عدا حنك السبع — نبات الليناريا (Linaria) والروسيليا . (Russelia juncea) .

الفصيلة البجنونية

تضم الفصـيلة البجنونية (Bigno niaceae) ما يقرب من ١١٠ جنساً و ٧٥٠ نوعاً تنتشر غالبيتها فى المناطق الحارة ، بينما تستوطن الأقلية المناطق المعتدلة . والنباتات التابعة لهذه الفصيلة إما أشجار أو شجيرات وعادة تكون متسلقة ، وتحمل أوراقاً مركبة ريشية غير مؤذنة تتحور الوريقة الطرفية فيها عامة إلى معلاق . وتشمل الفصيلة على عدد من أشجار الزينة من بينها التيكوما.

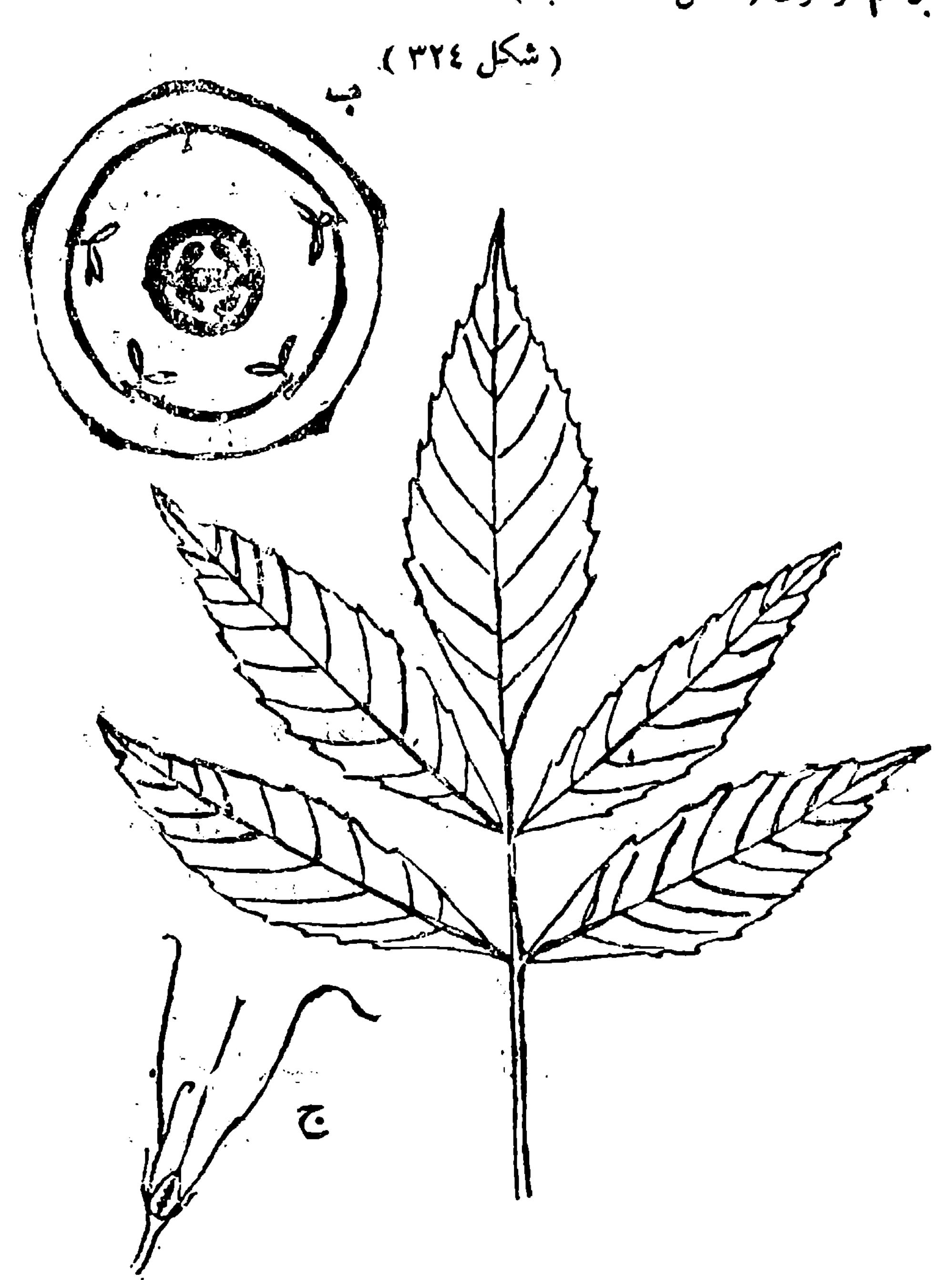
التيكوما :

التيكوما (Tecoma stans) من أشجار الزينة المنتشرة فى بعض الحدائق ، وهى تحمل أوراقاً مركبة ريشية فردية (شكل ٣٢٤ : ا) وأزهاراً صفراء اللون كبيرة الحجم قمعية الشكل ، خنثى ، وحيدة التناظر . وتحت متاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة .

التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة متراكبة تراكباً تنازليا فى البرعم الزهرى (شكل ٣٢٤ : ب) .

(شكل ٣٢٤)



القانون الزهرى : ٠|٠ ، ☿ ، ك(٥) ، ت(٥) ، ط ع ، م(٢)

الفصيلة البجنونية ، التيكوما : (ا) ورقة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة .

الطلع : يتركب من أربع أسدية فوق بتلية ، اثنتان طويلتان والأخريتان قصيرتان ، وتحمل كل سداة متكا ذا فصين يقع الواحد منهما فى مستوى فوق الآخر .

المتاع : المبيض علوى ويقع فوق قرص رحيق . ويتركب المتاع من كربلتين متحدتين وغرفتين ، وتحوى كل غرفة عدداً كبيراً من البويضات تنتظم على مشيمة محورية . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بميسم ذى فصين (شكل ٣٢٤ : ج) .

الثمرة : علبة .

نباتات الزينة :

كايجليا (**kigelia pinnata**) : تتميز أشجارها بثمارها الاسطوانية الكبيرة الحجم ،وهى تتدلى من أعناق طويلة شبيهة بالحبال .

بيجنونيا (**Bignonia venusta**) : نبـات متسلق يحمل أزهاراً برتقالية اللون وأوراقاً تنتهى بثلاثة معاليق .

جاكارندا (**Jaçaranda acutifolia**) : من أشجار الزينة التى تشاهد فى الطرقات وتحمل أزهاراً زرقاء .

رتبة القرعيات

تشتمل رتبة القرعيـات (Cucurbitales) على الفصيلة القرعيـة (Cucurbitaceae) فقط .

الفصيلة القرعية

تشتمل الفصيلة القرعية (Cucurbitaceae) ما يقرب من مائة جنسا وحوالى ٨٥٠ نوعا يكثر انتشارها فى المناطق الحارة ، وينعدم وجودها فى المناطق الباردة .

والنباتات التى تنتمى لهذه الفصيلة غالبيتها عشبية متسلقة ، لها معاليق متحورة عن جذور أو سيقان أو أوراق أو أذينات أو أعناق أزهار ، والقليل منها زاحفة ، ومن بين النباتات الشائعة قرع الكوسة .

القرع (الكوسة) :

القرع (Cucurbita pepo) نبات عشبى زاحف ساقه مضلعة تحمل أوراقاً بسيطة مفصصة ، وهو وحيد المسكن ، أى أن الأزهار الذكرية والأنثوية توجد على نفس النبات ، وهى وحيدة ولا تنتظم فى نورات ومنتظمة.

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة .

التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة .

الطلع : فى الزهرة الذكرية يتركب الطلع من خمس أسدية التوت فيها المتوك وكونت عاموداً مركزياً . أما الخيوط فتتميز إلى زوجين ملتحمين وواحد منفصل (شكل ٣٢٥ : ا ، ب) .

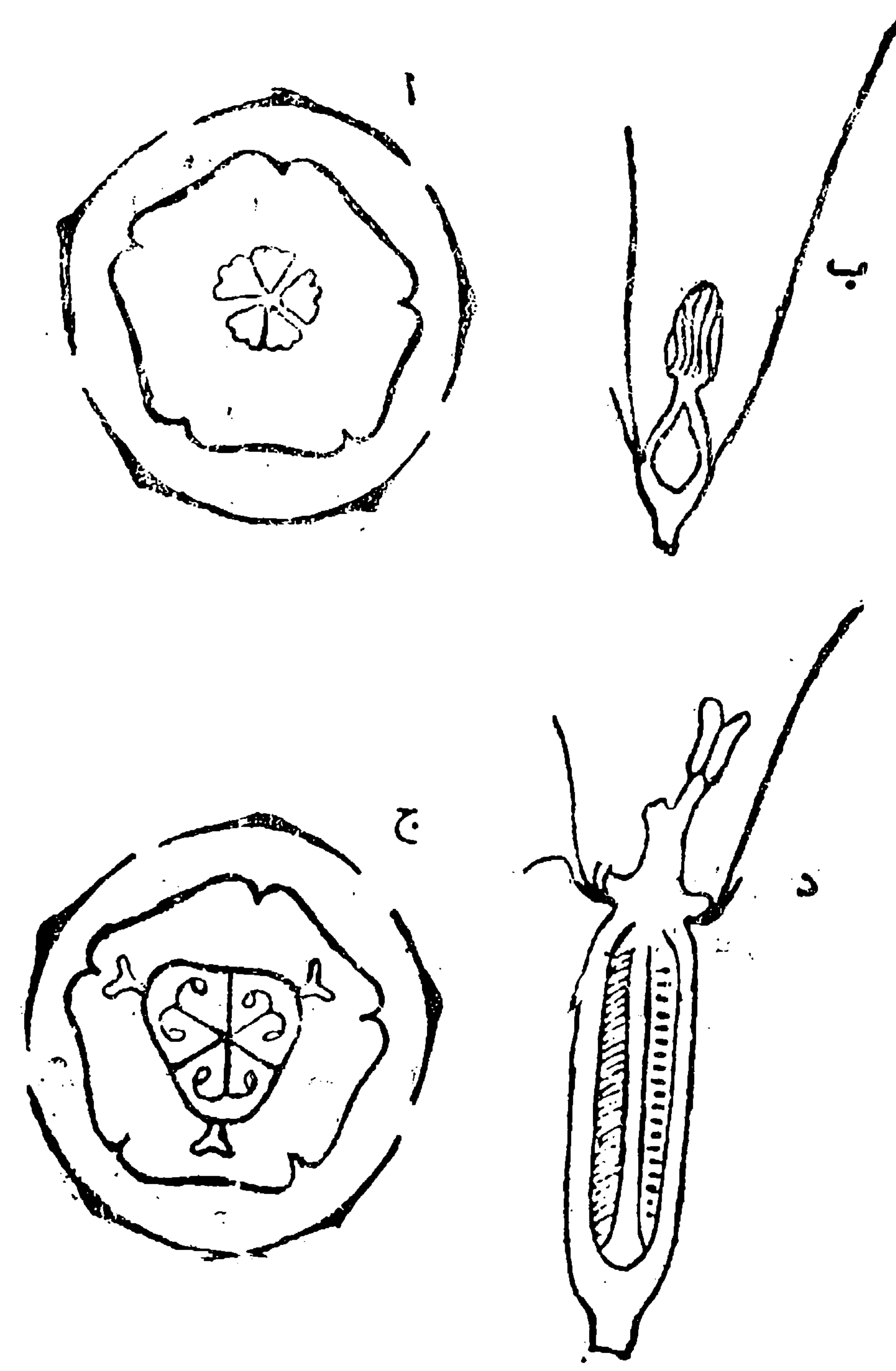
المتاع : فى الزهرة الأنثوية يكون المتاع سفليا ، ويتركب من ثلاث كرابل ملتحمة وثلاث غرف بكل منها بويضات عديدة تنتظم على مشيمة مركزية تبرز فى فراغ الغرفة . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بثلاثة مياسم تنقسم إلى ستة فصوص (شكل ٣٢٥ : ج ، د) .

الثمرة : لبية .

النباتات الاقتصادية : تضم الفصيلة عدداً من النباتات تؤكل ثمارها مثل البطيخ (Citrullus vulgaris) والخيار (Cucumis sativus والشمام (Cucumis melo) وقرع الكوسة ، كما تضم أيضاً اللوف (Luffa cylindrica) ، وفيه يستخدم غلاف الثمرة - الذى تخترقه شبكة من الحزم الوعائية - بعد تجفيفه فى الاستحمام .

النباتات الطبية : من أهم النباتات الطبية التابعة لهذه الفصيلة نبات الحنظل

(شكل ٣٢٥)



القانون الزهرى : ♂ ، ⊕ ، ك ٥ ، ت (٥) ، ط ٥
♀ ، ⊕ ، ك ٥ ، ت (٥) ، م (٣)

الفصيلة القرعية . القرع : (ا) مسقط زهرى لزهرة ذكرية ، (ب) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة ذكرية ، (ج) مسقط زهرى لزهرة أنثوية ، (د) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة أنثوية.

(Colocynthis vulgaris) الذى يستخرج من لب ثماره عندما تجف عقار علقم (Colocynth) الذى يستخدم فى الطب كمسهل قوى ، كما يستخدم كقاتل حشرات .

رتبة الجرسيات

تضم رتبة الجرسيات (Campanulatae) ست فصائل ، منها الفصيلة المركبة (Compositae) ، وتتميز هذه الرتبة باحتواء أزهارها على خمس أسدية مرتبة فى محيط واحد وبالتصاق متوكها أو التحامها . والمتاع فى هذه الرتبة وحيد الغرفة ويحتوى على بويضة واحدة .

الفصيلة المركبة

تعد الفصيلة المركبة (Compositae) من أكبر الفصائل النباتية ، إذ تضم حوالى ٩٥٠ جنساً و ٢٠٠٠٠ نوعاً ، منتشرة فى معظم أنحاء العالم . وهذه النباتات غالباً عشبية ، ويندر أن تكون شجيرات أو أشجاراً ، وتحمل أوراقاً عديمة الأذينات غالباً ومتبادلة أو متقابلة ، ويندر أن تكون محيطية ، وتختلف الورقة من حيث تركيبها فى النباتات المختلفة .

وتتميز هذه الفصيلة بنورتها الهامة التى يتخذ المحور فيها أشكالاً متباينة ، فتارة يكون مقعراً وتارة محدبا وتستوى عليه الزهيرات (Florets) الجالسة ، وتقع أصغرها سناً فى المركز ، ثم تتدرج فى الكبر كلما اتجهنا للخارج ، وتحيط بها من الخارج مجموعة من القنابات يطلق عليها اسم القلافة ، وهى إما أن تكون دائمة أو متساقطة ، ويختلف شكل القنابة فى النباتات المختلفة ، وقد تتحور إلى شوكة كما فى بعض النباتات الصحراوية .

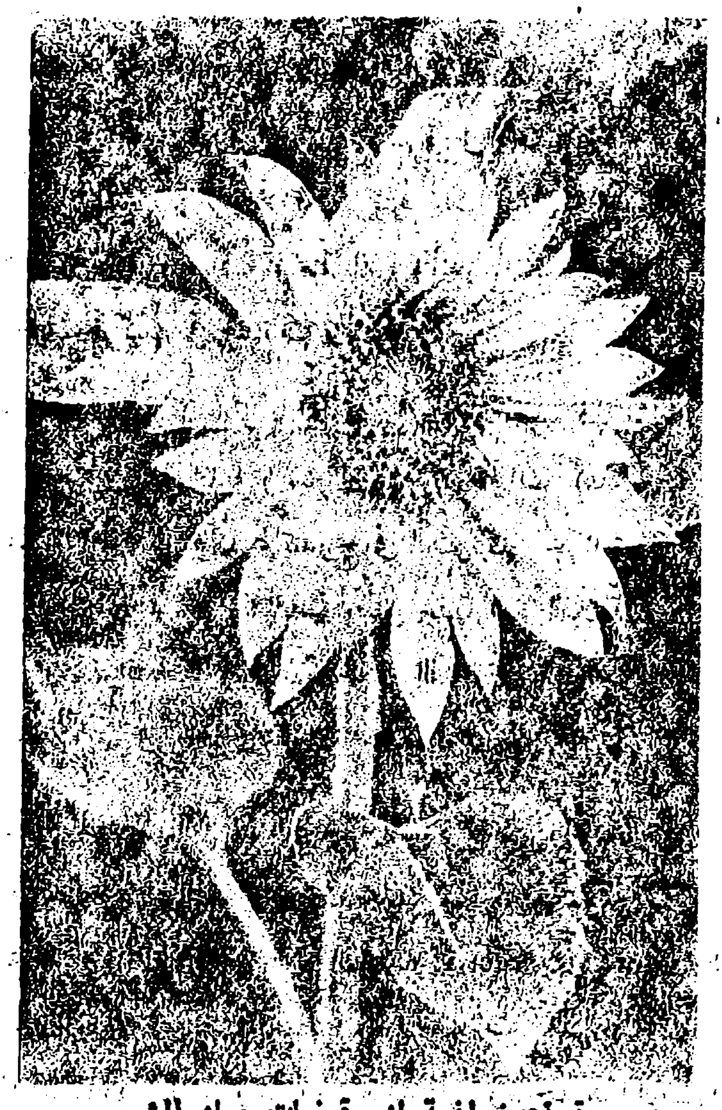
وتختلف الزهيرات التى تتألف منها النورة ، فهى إما أن تكون جميعها منتظمة أو وحيدة التناظر ، أو تكون خليطاً من كلا النوعين ، وفى الحالة الأخيرة تظهر الزهيرات الأنبوبية أو القرصية (Tubular or disc florets) — وهى منتظمة — فى الوسط وتحيط بها الزهيرات الشريطية أو الشعاعية (Ligulate or ray florets) ، وهى وحيدة التناظر ، ويوجد هذا الوضع فى معظم

النباتات التابعة لهذه الفصيلة. وتضم هذه الفصيلة عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة، ومن بينها نبات عباد الشمس (**Helianthus annuus**).

عباد الشمس :

نبات عشبي حولي ، يحمل أوراقاً كبيرة الحجم بسيطة بيضاوية ، ونورته هامة صفراء اللون تتجه ناحية الشمس ، وتتبعها فى حركتها من الشروق إلى الغروب ، ولذلك أطلق على النبات إسم عباد الشمس . وتتركب النورة من محور مفلطح ومحدب قليلا ، يحمل نوعين من الزهيرات ، زهيرات شعاعية — وتقع فى الخارج — وزهيرات أنبوبية وتوجد بالداخل (شكل ٣٢٦) ،

(شكل ٣٢٦)



صورة فتوغرافية لنورة نبات عباد الشمس

يحيط بالزهيرات جميعها من الخارج قلافة ، تتركب من عدد من القنابات صغيرة الخضراء (شكل ٣٢٧ : ا) .

الزهيرة الشعاعية : تنشأ الزهيرة الشعاعية (شكل ٣٢٧ : ج) فى آبط نابة شفافة ، وهى وحيدة التناظر ، أنثى عقيمة فوق متاعية .

الكأس : يمثلها نتوءان صغيران غالباً ، وفى بعض الأحيان ثلاثة نتوءات .

التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة على هيئة شريط (شكل ٣٢٧ : ج) ينتهى بثلاثة أسنان ، تمثل ثلاث بتلات . أما البتلتان الباقيتان فقد اختفتا .

الطلع : منعدم .

المتاع : ضامرليس له قلم ولا ميسم .

الزهيرة الأنبوبية : تخرج الزهيرة الأنبوبية (شكل ٣٢٧ : ب) من إبط نابة شفافة ، وهى منتظمة خنثى فوقى متاعية .

الكأس : يمثلها نتوءان صغيران (شكل ٣٢٧ : ب ، ه) .

التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة على هيئة أنبوبة .

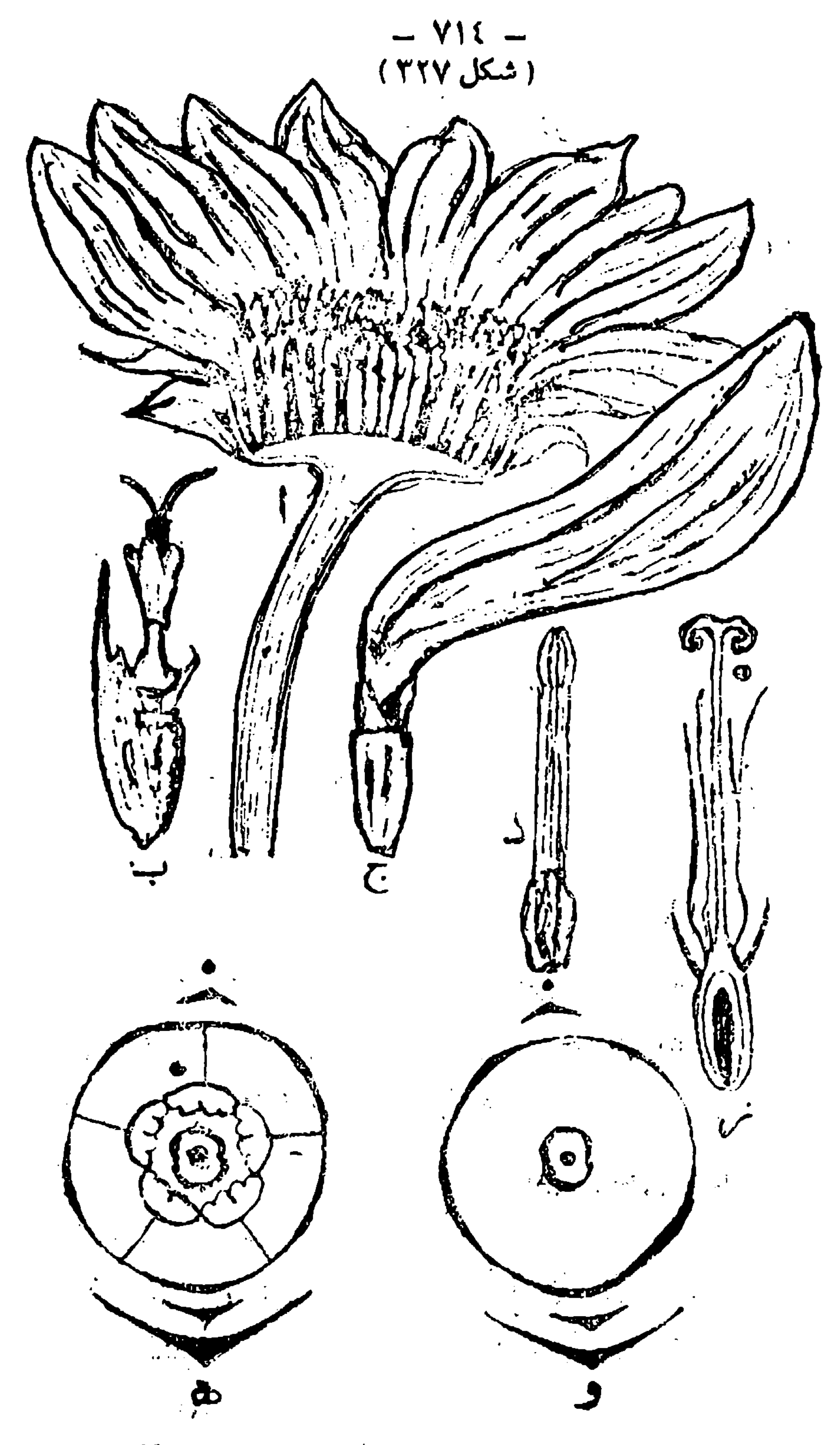
الطلع : يتكون من خمس أسدية فوق بتلية ، خيوطها منفصلة ، وتتحد متوكها (شكل ٣٢٧ : د) لتكون أنبوبة حول القلم .

المتاع : يتركب من كربلتين ملتحمتين والمبيض سفلى وحيد الغرفة ، يحتوى على بويضة واحدة تنشأ على مشيمة قاعدية (شكل ٣٢٧ : ز) ، ويعلو المبيض قلم ينتهى بميسمين ينطبقان داخل الأنبوبة المتكية فى الزهيرة حديثة السن ، ولكنهما فى الزهيرة البالغة ينبثقان من الأنبوبة المتكية . وينفرجان ليعرضا سطحهما العلوى لاستقبال حبوب اللقاح ، وذلك هو السطح الداخلى الفعال ، الذى تستطيع عليه وحده أن تنبت حبوب اللقاح .

الثمرة : سبسلاء

ويمكن تقسيم هذه الفصيلة إلى قسمين ، أو تحت فصيلتين ، تتميز إحداهما عن الآخرى بما يأتى :

(شكل ٣٢٧)



القانون الزهرى — الزهيرة الأنبوبية ⊕ ☿ ٥ ك(٢) ، ت(٥) ، ط ٥ ، م(٢)

الزهيرة الشعاعية : أ ، ☿ عقيمة ، ك ٢ ، ت(٥) ، م(٢)

الفصيلة المركبة. عباد الشمس: (ا) قطاع طولى فى الهامة، (ب) زهيرة أنبوبية، (ج) زهيرة شعاعية، (د) الطلع فى الزهيرة الأنبوبية، (هـ) مسقط زهرى للزهيرة الأنبوبية، (و) مسقط زهرى للزهيرة الشعاعية، (ز) رسم تخطيطى قطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهيرة الأنبوبية

١ — **تحت الفصيلة الأنبوبية (Tubuliflorae)** : وفيها إما أن تشغل الزهيرات الأنبوبية وسط الهامة أو الهامة جميعها ، وينعدم وجود المادة اللبنية .

٢ — **تحت الفصيلة الشريطية (Liguliflorae)** : وفيها تكون جميع الزهيرات شعاعية . وتوجد بها المادة اللبنية .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات نستغلها كثيراً فى طعامنا وهى :

الخرشوف (Cynara scolymus) : يؤكل الجزء اللحمى من نورته قبل تفتح الزهرة .

الخس (Lactuca sativa) تؤكل أوراقه . وهناك نوع يعرف بخس الزيت يستخرج من بذوره نوع من الزيت يستعمل فى الطعام .

الطرطوفة (Helianthus tuberosus) تؤكل درناته الساقية ، كما أنها استغلت حديثاً لتحضير النشا تجارياً .

القرطم (Carthamus tinctorius) : يستخرج من بذوره زيت يعرف بالزيت الحلو ، يستعمل فى صناعة الصابون ومواد الطلاء والطعام ، وتستخرج من بتلاته مادة تعرف بالعصفر (Carthamin) تستعمل فى الصباغة .

ومن النباتات البرية التابعة لهذه الفصيله نبات الشيكوريا (Cichorium intybus) والجعضيض والشبيط .

النباتات الطبية :

الشيح (Artemisia cina) تستعمل نوراته غير المنتفخة الجافة لطرد الديدان المعوية .

البيريثرم (Pyrethrum cinerariaefolium) : يستخدم مسحوق النورة الجافة كمبيد للحشرات .

نباتات الزينة : يتبع هذه الفصيلة بعض النباتات التى تستعمل فى الزينة ، وذلك لجمال أزهارها ، ومن هذه النباتات : الداليا (Dahlia) والسنتوريا (Centaurea) ، والزينيا (Zinnia) والكريزانثمم (Chrysanthemum) ، والأقحوان (Calendula) والأستر (Aster) .

القسم الرابع

وظائف الأعضاء

PHYSIOLOGY

الباب التاسع والعشرون

البروتوبلازم والحالة الغروانية

البروتوبلازم

ذكرنا فى الباب السابع أن الخلية النباتية تتكون من كتلة بروتوبلازمية صغيرة يغلفها جدار خلوى رقيق . وبروتوبلازم (Protoplasm) الخلايا الناشطة هو مادة شفافة لزجة قليلا ، محببة وغير متجانسة ، إذ يحتوى على عدد من التراكيب أهمها النواة والبلاستيدات ، أما بقية كتلته فتعرف بالسيتوبلازم ، وهو سائل غروانى (Colloidal) لزج يشغل معظم الخلية فى طورها الإنشائى ، أما عندما تصل الخلية إلى مرحلة البلوغ فإنها تكون قد زادت فى الحجم كثيراً وتكونت فيها فجوة عصارية كبيرة تشغل الجزء المركزى من فراغ الخلية ، وتدفع كتلة السيتوبلازم إلى وضع محيطى يلى الجدار الخلوى مباشرة .

والسيتوبلازم سائل غروانى لزج ، ويمكن أن يستدل على سيولته — أو على سيولة البروتوبلازم عامة — من الشواهد التالية :

(أ) تأخذ القطرات المائية المنتشرة فيه شكلا كرياً .

(ب) إذا فحص السيتوبلازم خلال المجهر بقوة تكبير عالية فإن مابه من جسيمات صغيرة تشاهد فى حركة تذبذبية ، تعرف بالحركة البراونية ، نسبة إلى مستكشفها روبرت براون (Robert Brown) عام ١٨٢٨ ، ويمكن تقدير درجة لزوجة السيتوبلازم بتقدير سرعة هذه الجسيمات .

(ج) إذا تعرض السيتوبلازم لهزة كهربية فإنه يتخذ شكلا كرياً

(د) فى بعض الخلايا يشاهد السيتوبلازم فى حركة انسيابية حول السطح الداخلى للجدار الخلوى ، ويشاهد الانسياب السيتوبلازمى فى خلايا أوراق الإلوديا ، وكلما زادت سرعة انسياب السيتوبلازم دل ذلك على نقص فى درجة لزوجته .

وفى بعض الأحيان قد تتغير طبيعة السيتوبلازم من حالة السيولة إلى حالة أكثر صلابة — أى أكثر لزوجة — تبعاً لتغير الظروف المحيطة به . فسيتوبلازم الجراثيم الساكنة مثلا ذو لزوجة عالية وفى حالة متصلبة تقريباً ، ولكنه يأخذ فى التحول إلى الحالة السائلة عندما تنبت هذه الجراثيم . وبالمثل تكون لزوجة السيتوبلازم فى الخلايا الكامنة — كخلايا البذور — كلزوجة الجيلاتين المتصلب ، ولكنه بعد تشربه للماء وقت الإنبات يتحول إلى حالة سائلة ، التى يوجد عليها عادة فى الخلايا الناشطة . وتؤثر درجة الحرارة وتغير الحامضية والمواد الكيماوية فى لزوجة السيتوبلازم ، ويمكن القول بوجه عام إن ارتفاع درجة الحرارة يصاحبه تناقص تدريجى فى لزوجة السيتوبلازم ، فإذا ما أرتفعت درجة الحرارة عن ٥٥°م — وهى الدرجة المميتة — فإنه يتخثر سريعاً ، ومن ثم ترتفع درجة لزوجته .

ومع أن البروتوبلازم يبدأ كسائل بسيط إلا أن خواصه وقدرته على القيام بعمليات متعددة متباينة — من بناء وهدم وتكاثر ونمو وإحساس — تدل على أنه ليس مادة واحدة ، بل هو مجموعة معقدة من المواد .

وحيث أن البروتوبلازم يمثل مجموعة ديناميكية من المواد ، فليس من اليسير تحليله كيميائياً دون أن يسبب ذلك الإضرار به . ومن ثم — إذا توخينا الدقة فى التعبير — فإن من العسير معرفة المكونات الكيميائية للبروتوبلازم الحى ، وكل ما أمكن الوصول إليه هو استكشاف التركيب الكيميائى للمواد الموجودة فى البروتوبلازم بعد إتلافه ، ونسبتها فيه . وقد أجريت معظم هذه الدراسات على أنواع من الفطريات المخاطية (Myxomycetes) ، وهذه الكائنات تتكون — فى أطوار معينة من حياتها — من كتل عارية من البروتوبلازم خالية تماماً من مادة الجدار الخلوى . وحتى فى هذه الكائنات لا تعتبر كل مكونات جسم النبات أجزاء من البروتوبلازم ، إذ أن هناك دقائق من مواد غذائية وأخرى خاملة تنتشر فى الكتلة البروتوبلازمية ، ولا يمكن فصلها عنها . ويبين (جدول ١٤) نتيجة التحليل الكيميائى للمادة الجافة لبلازموديوم الفطرة المخاطية .

جدول (١٤)

نتيجة التحليل الكيميائى لبلازموديوم الفطرة المخاطية (عن ليبشكن ١٩٢٣)

المكون	نسبة مئوية من الوزن الجاف
(أ) مواد ذائبة فى الماء ، وهى أساساً من الفجوات	
سكرات أحادية	١٤,٢
بروتينات	٢,٢
أحماض أمينية وأميدات	٢٤,٣
(ب) مواد عضوية غير ذائبة : وهى مكونات البرتوبلازم	
بروتينات نووية	٣٢,٣
أحماض نووية	٢,٥
جلوبيولينات	٠,٥
ليبوبروتينات	٤,٨
دهون متعادلة	٦,٨
ستيرولات نباتية	٣,٢
فوسفاتيدات	١,٣
مواد عضوية أخرى	٣,٥
(ج) مواد معدنية ، نصف ذائبة فى الماء	٤,٤

والماء هو المكون الأساسى لبروتوبلازم الخلايا الناشطة ، إذ تصل نسبته إلى ٩٠٪ أو أكثر ، وعلى العكس من ذلك تنخفض نسبة الماء فى بروتوبلازم البذور الجافة إلى ١٠٪ أو أقل .

أما مادة البروتوبلازم الجافة فتحتوى على نسبة عالية من وزنها (٤٠٪— ٦٠٪) بروتينات وغيرها من المركبات النيتروجينية كالأحماض الأمينية والأميدات ، كما توجد نسبة أقل من المواد الدهنية ومنها الدهون الحقيقية والفسفوليبيدات (Phospholipids) ، والمواد الكربوايدراتية — من سكرات وعديدات تسكر — والأملاح المعدنية . ومعظمها فوسفات وكلوريد وكبريتات وكربونات الماغنسيوم والصوديوم والكالسيوم ، وأخيراً توجد نسبة ضئيلة من مواد أخرى تختلف من خلية إلى خلية . وبديهى أن هذه المواد غير الحية — إذا مزجت بنفس النسب التى توجد بها فى البروتوبلازم — فإنها لاتكون مادة حية مطلقاً . وعلى ذلك فتعزى ظاهرة الحياة فى البرتوبلازم إلى الطريقةالغامضة التى تنتظم بها هذه المواد داخل كتلته . فإذا تلف ترتيب هذه المواد أو اختل كما يحدث عند التحليل الكيميائى للبروتوبلازم أو عند طحن الخلايا طحنا تاما أو عند معاملتها بمادة ضارة — فإن البروتوبلازم يفقد ظاهرة الحياة ،ولاتبقى من خواصه غير الخواص الفيزيائية والكيميائية لمركباته .

ومعظم المواد الكيميائية التى يتكون منها البروتوبلازم تكون مع الماء محاليل غروانية ، وأغلبها من النوع شبه المستحلب ، ويعزى إلى وجود هذه المواد سلوك البروتوبلازم كمجموعة غروانية معقدة . ولما كانت خواص هذه المجموعة وتركيبها من التعقيد بحيث لايتحقق معها الإلمام بكل الصفات على وجه التحقيق ، فقد أصبح من الضرورى أن ندرس خواص مجموعات غروانية مشابهة — وإن كانت أبسط تركيبا — وذلك حتى يمكن استنتاج خواص البروتوبلازم .

الحالة الغروانية

فى عام ١٨٦١ قام توماس جراهام (Thomas Graham) بعدد من التجارب ، تمكن بوساطتها من تقسيم المواد إلى بللورية (Crystalloids) وغروانية (Colloids) . فقد عرض محاليل بعض المواد لعملية الفصل الغشائى (Dialysis) ، وذلك بوضع محلول المادة المراد اختبارها فى وعاء من ورق

البارشمنت (Parchment paper) أو رق الغزال ، ثم وضع هذا الوعاء بدوره فى وعاء يحتوى على المذيب النقى ، فلاحظ أن مجموعة من هذه المواد - مثل السكر وملح الطعام - تنتشر بسرعة خلال غشاء البارشمنت إلى المذيب ، وأن ثمة مجموعة أخرى - مثل النشا والجيلاتين والغراء - لاتنتشر أو على الأكثر تنتشر ببطء شديد . ولاحظ جراهام كذلك أن المواد التى تنتشر فى يسر تتبلور فى محاليلها ، أما المواد الأخرى فلا تتبلور ، مما دعاه إلى أن يطلق على المجموعة الأولى « بللوريات » وعلى المجموعة الثانية « غروانيات » وقد اشتق لفظ الغروانيات من « الغراء » ، لأنها إذا غايت مع الماء كونت محلولا غروانياً مثالياً .

ولم يكن جراهام محقاً فى هذا التمييز المطلق ، فقد تبين فيما بعد أن بعض المواد مثل حمض السيليسيك (Silicic acid) يمكن أن يكون إما محلولا غروانياً أو محلولا عادياً - أو على الأصح محلولا حقيقياً - وذلك حسب طريقة تحضيرها .

من الخطأ إذن أن توصف مادة ما بأنها بللورية أو غروانية ، لأن البللورية والغروانية خاصتان تتصف بهما الحالة التى توجد عليها المادة ، ولذلك فمن الأفضل أن يطلق على مادة ما أنها فى حالة بللورية أو فى حالة غروانية .

والمحلول الغروانى هو أحد أنواع ثلاثة من المحاليل ، تعتمد فى تكوينهاعلى سلوك المادة فى المذيب . وهذه المحاليل هى :

١ - **المحلول الحقيقى** (True solution) : وفيه تتجزأ المادة المذابة إلى أيونات أو إلى جزيئات دقيقة ، وفى كلتا الحالتين لا يمكن رؤية وحدات الذائب بأية وسيلة من وسائل الإبصار ، إذ أن قطرها لايتعدى ٠,٠٠١ ميكرون (الميكرون = ٠,٠٠١ من المليمتر) . وهذا النوع من المحاليل ثابت لاترسب دقائقه المنتثرة أبداً ، ومثله محلول ملح الطعام ومحلول سكر القصب فى الماء .

٢ - **المعلق والمستحلب** (Suspension and Emulsion) : فى كلتاالحالتين تتجزأ المادة إلى دقائق كبيرة يمكن رؤيتها بالمجهر العادى ، إذ يزيد قطرها

على ٠,١ ميكرون . وهذا النوع من المحاليل غير ثابت ، إذ سرعان ماتنفصل فيه دقائق المادة المنتشرة عن السائل المذيب فترسب أو تطفو . ففى حالة الرمل المنتشر فى الماء (معلق) يرسب الرمل فى القاع بفعل الجاذبية ، أما فى حالة الزيت المنتشر فى الماء (مستحلب) فإن الزيت يطفو فوق الماء لخفته .

٣ — المحلول الغروانى (Colloidal solution) : وهو حالة وسط بين النوعين السابقين . وفيه تتجزأ المادة المذابة إما إلى جزيئات كبيرة أو إلى مجموعات من الجزيئات المتحدة يتراوح قطرها بين ٠,٠٠١ — ٠,١ ميكرون ولا يمكن رؤية دقائق الغروانى بالمجهر العادى ، ولكن يمكن رؤيتها بطريقة خاصة سيرد ذكرها فيما بعد . والمحلول الغروانى ثابت ، أى أن حبيباته المنتشرة فى السائل لاترسب من تلقاء نفسها . وحبيبات الغروانى من الكبر بمكان بحيث لاتنفذ خلال أغشية البارشمنت ، ولكنها تمر خلال ثقوب ورق الترشيح. ومن أمثلة المحاليل الغروانية محلول الطمى المعلق بماء النيل ومحلول إيدروكسيد الحديديك ومحلول النشا فى الماء .

والمحاليل الغروانية — كما اتضح مما سبق — تتكون من طورين ، طور مستمر (Continuous phase) وطور غير مستمر (Discontinuous phase) ، والطور الأخير عبارة عن حبيبات منتشرة يفصلها عن بعضها البعض الطور المستمر . ويطلق عادة على الطور المستمر — وهو الذى يقابل المذيب فى المحلول الحقيقى — إسم « وسط الإنتشار » (Dispersion medium) ، كما يطلق على الطور غير المستمر — الذى يقابل الذائب فى المحلول الحقيقى — إسم « الطور المنتشر » (Dispersed phase) .

تقسيم المحاليل الغروانية : تنقسم المحاليل الغروانية إلى قسمين رئيسين :

١ — غروانيات كارهة لوسط الانتشار (Lyophobic colloids) : أى التى لاتوجد بها قابلية بين حبيباتها المنتشرة ودقائق وسط الإنتشار . ومن أمثلتها غروانيات معادن الذهب والفضة والبلاتين والطمى المعلق فى ماء النيل ومحلول كبريتيد الزرنيخ الغروانى ومحاليل الإيدروكسيدات الغروانية للحديد والألومنيوم

وسائر المحاليل الغروانية لأملاح المعادن المعروفة ، وإذا كان وسط الإنتشار لهذه الغروانيات ماء سميت كارهة للماء (Hydrophobic) . ويطلق أيضاً على الغروانيات الكارهة لوسط الإنتشار « شبه معلقات » (Suspensoids) نظراً لمـــا كان يعتقد من أن دقائق الطور المنتشر فيها تكون دائماً صلبة ، إلا أنه قد أمكن تحضير محاليل غروانية لها كل خواص « شبه المعلق » والطور المنتشر فيها سائل .

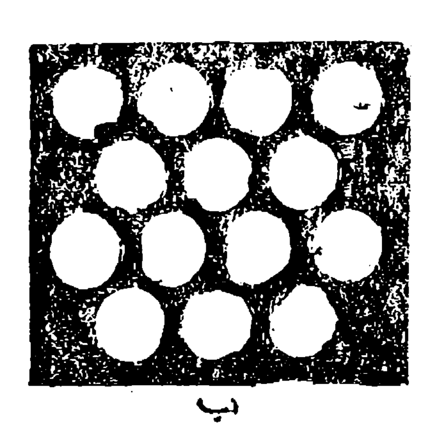
٢ — غروانيات محبة لوسط الانتشار (Lyophilic colloids) : وتتميز هذه الغروانيات بوجود قابلية شديدة بين حبيباتها المنتشرة ودقائق وسط الإنتشار وإذا كان وسط الانتشار ماء سميت غروانيات محبة للماء (Hydrophilic) . ومن أمثلتها محاليل الغراء والجيلاتين والنشا والصمغ والبروتين . ويطلق أيضاً على هذا النوع من الغروانيات «شبه مستحلبات» (Emulsoids) ، وذلك نظراً لمـــا كان يعتقد من أن دقائق الطور المنتشر فيها تكون سائلة دائماً . وفى هذا النوع من الغروانيات تغلف الحبيبات المنتشرة بأغشية من السائل المذيب تعمل بالإضافة إلى الشحنات الكهربية على حفظ الغروانى ثابتاً .

الغروانيات المتصلبة وخواصها :

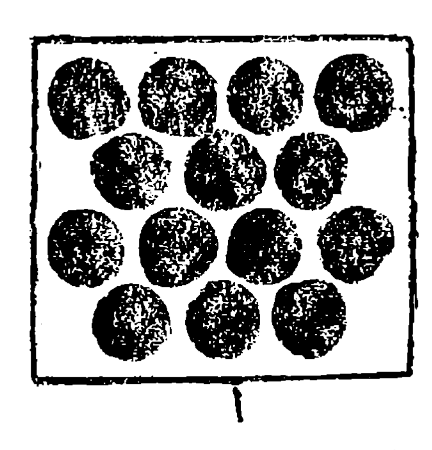
تتميز الغروانيات المحبة لوسط الانتشار بقدرة معظمها على التحول من الحالة السائلة (Sol) إلى حالة متصلبة نوعا ما . فمثلا إذا أذيبت قطعة من الجيلاتين فى الماء الساخن تكون محلول غروانى من الجيلاتين ، قوامه سائل ، فإذا ترك ليبرد فإنه يتجمد — إذا لم يكن مخففاً جداً — إلى غروانى هلامى (Gel) ، يعود إذا سخن إلى الحالة السائلة مرة أخرى . وهذا التحول العكسى هو نتيجة لانعكاس الأطوار فى الغروانى ، بمعنى أن الطور المنتشر يصبح وسط انتشار وأن وسط الانتشار يصير طوراً منتشراً (شكل ٣٢٨) ، ففى حالة غروانى الجيلاتين السائل يكون الجزء الأكبر من وسط الانتشار (الماء) موجوداً فى حالة طليقة تباعد بين حبيبات الجيلاتين المنتشرة ، أما عندما يتصلب غروانى الجيلاتين السائل بالبرودة فإن هذا الماء الطليق يتحول معظمه إلى أغلفة تحيط

بالحبيبات الغروانية التى تتقارب ويتصل بعضها ببعض فى صورة شبكه تملأ عيونها قطرات منفصلة من الماء ، وفى هذه الحالة يكون الماء المغلف للحبيبات الغروانية فى حالة غير حرة ، أى ماء مقيداً (Bound water) .

(شكل ٣٢٨)



ب



أ

انعكاس الأطوار فى الغروانيات : (ا) غروانى سائل : (ب) غروانى متصلب ، ويلاحظ أن الطور المنتشر فى (ا) – الممثل بالدوائر السوداء – قد تحول إلى وسط انتشار فى (ب).

والغروانيات المتصلبة مألوفه لنا جميعاً فى الجيلى (Jelly) والبودنج (Pudding) ، ومن أمثلتها كذلك المنابت التى تستخدم فى تزريع الفطريات والبكتيريا والطحالب .

على أن بعض الغروانيات المحبة لوسط الانتشار ليست لها القدرة على التصلب ، مثل بعض محاليل الصمغ والبروتين ، وفى بعض الأحيان لايكون تحول بعضها من الحالة السائلة إلى المتصلبة عكسياً ، وأوضح مثل لذلك تصلب زلال البيض بالغليان ، فإذا برد ثانية فإنه لايسيل .

وتختص شبه المستحلبات المتصلبة بقدرتها على تشرب الماء ، لما تمتاز به حبيباتها من خاصة اجتذاب الماء وإحاطة نفسها بغشاء منه ، يزداد سمكه كلما زادت كمية الماء المتشرب ، وتتوقف قدرة الغروانى المتصلب على التشرب (Imbibition) على قوة تماسك حبيباته . فكلما كانت قوة التماسك صغيرة

زادت قدرة الغرواني على التشرب . فالجيلاتين مثلا يتشرب الماء بدرجة كبيرة ، ثم لايلبث أن تنتشر دقائقه في الماء مكونة غروانياً سائلا ، وذلك لأن قوة تماسك دقائق الجيلاتين ضئيلة جداً . وعلى العكس فإن قطعة من الخشب — وهي غرواني متصلب أيضاً — تتشرب الماء بدرجة قليلة ، ولاتتحول مطلقاً إلى الحالة السائلة نظراً لقوة التماسك الكبيرة بين دقائقها الغروانية .

وفي بعض الأحيان تتناقص قدرة الغرواني المتصلب على التشرب كلما زاد عمره ، ومن ثم ينطلق بعض الماء حراً من الكتلة المتصلبة . وتلك ظاهرة تشاهد كثيراً في الجيلي والبودنج عندما تطول مدة حفظها ، وقد تحدث في الخلايا في مرحلة الشيخوخة ، فيزداد حجم فجواتها العصارية على حساب بروتوبلازمها .

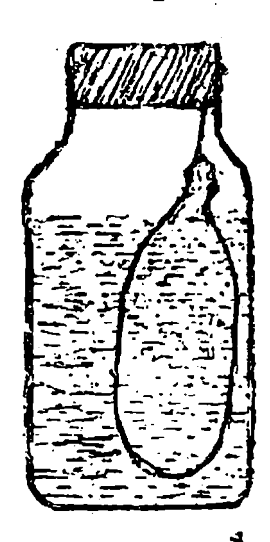
بعض الخواص العامة للمحاليل الغروانية :

١ — الانتشار والفصل الغشائي : تتوقف سرعة انتشار مادة ما على حجم دقائقها ، ولما كانت حبيبات أو دقائق الغرواني كبيرة الحجم — إذا قورنت بدقائق المحلول الحقيقي — فإن انتشارها يكون أبطأ كثيراً ، وعندما يفصل بين محلولين بغشاء رقيق من الكلوديون أو البارشمنت أو السيلوفين فإن مرور الدقائق الكبيرة يقف في الوقت الذي يستمر فيه انتشار الدقائق الصغيرة فالمواد البللورية المثالية — مثل ملح الطعام — تمر خلال الثقوب الدقيقة لهذه الأغشية ، والجزيئات الكبيرة — مثل جزيئات أحمر الكونغو التي تمثل الحد الفاصل بين البللوريات والغروانيات — لا تستطيع النفاذ إلا إذا كان الغشاء أكثر مسامية ، أما الغروانيات المثالية — كزلال البيض — فلا تستطيع النفاذ إطلاقا .

ويستفاد من هذه الخاصة عند تنقية المحاليل الغروانية مما يكون عالقاً بها من شوائب بللورية ، فيوضع لذلك المحلول المختلط في وعاء مفتوح سد أحد طرفيه بغشاء من ورق البارشمنت أو أي غشاء مناسب ، ثم يوضع هذا الوعاء في وعاء أكبر يحتوي ماء نقياً ، فتنتشر الجزيئات الصغيرة وأيونات المواد

البلورية ببطء خلال الغشاء إلى المذيب الخارجى ؛ أما دقائق الغروانى فتمنع من المرور لكبر حجمها بالنسبة لثقوب الغشاء ، فإذا تجدد الماء الخارجى مرات متتالية — أو وضع الوعاء بمحتوياته فى ماء جار — أمكن استخراج كل ما به من الشوائب الالكتروليتية ويبقى الغروانى بداخله نقياً ، ويطلق على هذه العملية « الفصل الغشائى » (Dialysis) ، أما الجهاز المستخدم فيها فيعرف باسم « جهاز الفصل الغشائى » (Dialyser) .

(شكل ٣٢٩)



جهاز الفصل الغشائى ، كما يجهز فى المعمل

ويمثل الفصل الغشائى فى المعمل بتجربة يستخدم فيها جهاز مبسط (شكل ٣٢٩) ، يتكون من كيس من الكلوديون أو السيلوفين يوضع داخله مخلوط من محلول النشا الغروانى ومحلول كلوريد الصوديوم الحقيقى ، فإذا وضع هذا الكيس فى ماء نقى فإنه يلاحظ بعد مدة وجيزة أن ملح الطعام — نظراً لدقة أيوناته — قد انتشر من داخل الكيس إلى خارجه ، ويستدل على ذلك بمحلول نيترات الفضة التى تكون مع كلوريد الصوديوم راسباً أبيض . أما النشا فيبقى داخل الكيس . وإذا عومل المحلول الخارجى بمحلول اليود فى يوديد البوتاسيوم فإنه لا يظهر اللون الأزرق الذى يتلون به النشا عندما يعامل بمحلول اليود .

٢ — اللزوجة : يقصد بلزوجة (Viscosity) سائل ما مقاومته للانسياب ، فكلما كانت درجة لزوجة السائل عالية قلت قدرته على الانسياب فزلال البيض مثلا أكثر لزوجة من الماء ، ولذلك فهو أقل منه استعداداً للانسياب . ولزوجة الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار قلما تختلف اختلافاً ملموساً عن لزوجة المذيب . أما الغروانيات المحبة لوسط الانتشار فهى — على النقيض من الأولى — ذات لزوجة تزيد دائماً على لزوجة وسط الانتشار ،

وتزداد لزوجة الغروانى المحب لوسط انتشاره زيادة كبيرة إذا زيد تركيز المادة المنتشرة ، إذ أن زيادة هذه الأخيرة تقلل من كمية الماء الطليق ، وهذا بدوره يقلل من سيولة الغروانى ، ومن ثم يرفع من لزوجته .

وتتأثر لزوجة السائل والغروانيات بتغير درجة الحرارة ، فانخفاض درجة الحرارة يرفع اللزوجة بوجه عام . وقد سبق أن ذكرنا أن غروانى الجيلاتين السائل يتحول إلى غروانى هلامى أكثر لزوجة بالتبريد .

٣ — ظاهرة تندال : إذا سلطت حزمة من ضوء قوى على أحد جوانب وعاء زجاجى يحتوى ماء نقياً ، ثم فحص الوعاء فى اتجاه جانبى متعامد مع اتجاه مرور الحزمة الضوئية . فإنه لا يمكن إدراك مسار الضوء خلال الماء . ويحدث مثل ذلك إذا استبدل بالماء فى الوعاء محلول حقيقى كمحلول السكر أو محلول ملح الطعام . أما إذا ملىء الوعاء بمحلول غروانى — وعلى الأخص من النوع الكاره لوسط الانتشار — وسلط عليه ضوء جانبى قوى ، ثم فحص بالطريقة السابقة ، فإن النتيجة تكون مختلفة تماماً ، إذ يظهر مسار الأشعة ويتحدد بمنطقة قائمة خلال الغروانى ، وحتى المحاليل الغروانية التى تبدو شفافة للعين المجردة ترى كدرة بعض الشىء إذا تعرضت لنفس المعاملة . ويشبه ذلك ما يلاحظ عند مرور شعاع ضوئى خلال حجرة مظلمة أثير غبارها . وهــذه الظاهرة — المعروفة « بظاهرة تنــدال » (Tyndall phenomenon) — تعزى إلى أن حبيبات الغروانى من الكبر بحيث تعكس أشعة الضوء الساقطة عليها ، وحيث أنه عند انعكاس الضوء فى هذه الحالات تنحرف الموجات القصيرة (النهاية الزرقاء للطيف) بدرجة أكبر من انحراف الموجات الطويلة فإنه يحدث انفصال جزئى للطيف ، ولهذا السبب يبدو المحلول الغروانى — الذى يكون طوره المنتشر عديم اللون — أزرق باهتاً عند فحصه فى مسار حزمة ضوئية قوية .

وقد أوحت ظاهرة تندال بفكرة المجهر الدقيق أو « الألترامیكروسكوب » (Ultramicroscope) ، ويجهز هــذا المجهر بأن يضاء المحلول الغروانى

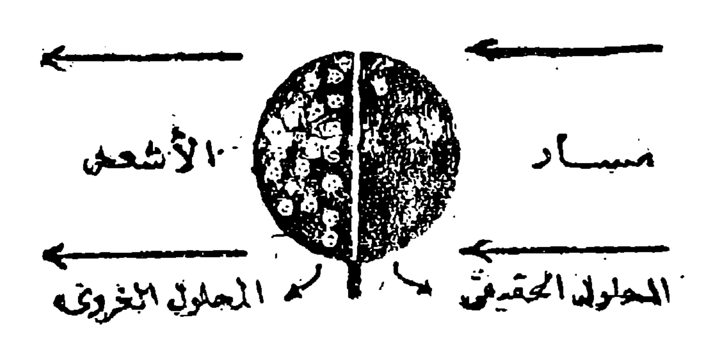
ـ أو أية مادة أخرى يراد فحصها — إضاءة جانبية (فى اتجاه متعامد على أنبوبة المجهر) ، وذلك بوساطة حزمة ضوئية قوية تركز بوساطة مجموعة من العدسات المجمعة فى نقطة داخل مادة الفحص (شكل ٣٣٠) .

(شكل ٣٣٠)

الإضاءة الجانبية فى الألترامكروسكوب

ويمكن عند فحص المحلول الغروانى بوساطة هذا المجهر أن يرى مسار الضوء فيه مركباً من نقط ضوئية ، منفردة لامعة ، متفاوتة الحجم (شكل ٣٣١) ، تمثل كل نقطة منها شعاعاً ضوئياً منعكساً بوساطة إحدى الدقائق الغروانية التى توجد بالمحلول .

(شكل ٣٣١)



الحقل الميكروسكوبى ، كما يبدو عندما تمر حزمة ضوئية فى اتجاه متعامد على أنبوبة الميكروسكوب وليس فيها، فإذا كان الضوء مارا خلال محلول تام فإن الحقل يبدو مظلما تماما، أما إذا كان مارا خلال محلول غروانى ظهرت فى الحقل الميكروسكوبى نقط لامعة مضيئة، كما تظهر فى الجانب الأيسر من الشكل .

٤ — **الحركة البراونية** : تشاهد النقط الضوئية التى ترى عند فحص المحلول الغروانى بالمجهر الدقيق فى حركة اهتزازية مستمرة سميت بالحركة البراونية ، نسبة إلى مكتشفها روبرت براون (Robert Brown) . ففى عام ١٨٢٨ شاهد هذا العالم من خلال المجهر أن حبوب اللقاح المعلقة فى الماء تتحرك حركة اهتزازية سريعة ، عزيت فى بادىء الأمر إلى حيوية حبوب اللقاح ، إلا أنه بفحص تحضيرات من حبوب اللقاح أو الجراثيم الميتة أمكن

مشاهدة نفس الحركة ، عندئذ اتضح أن هذه الحركة ليست مرتبطة بعمليات الحياة . وقد أصبح من المعروف الآن أن الدقائق التى لا يزيد قطرها على ٤ أو ٥ ميكرون تقوم بهذه الحركة عندما تكون معاقة فى سائل . ومعظم المواد المعلقة التى تكون حبيباتها فى مدى الرؤية المجهرية تتميز بالحركة البراونية ، فكثير من الأنواع الصغيرة للبكتيريا مثلا تؤدى هذه الحركة عندما تعلق فى الماء . وعلى العموم تكون هذه الظاهرة أكثر وضوحاً فى الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار منها فى الغروانيات المحبة له ، وهى بالطبع لا تشاهد فى المحاليل الحقيقية . وتتأثر الحركة البراونية بلزوجة السائل المنتشرة فيه الدقائق ، فكلما زادت اللزوجة كانت الحركة أبطأ ، وفى الغروانيات المتصلبة تتوقف الحركة تماماً . وإذا تساوت كتلة الدقائق المتحركة فإن أصغرها حجماً تكون أسرع فى حركتها البراونية ، وإذا تساوى حجم الدقائق فإن الأقل كتلة تكون أشد عنفاً فى حركتها .

وتعزى هذه الحركة إلى دفع الدقائق المادية بجزيئات الوسط السائل . وحيث أن حركة جزيئات السائل ليس لها اتجاه ثابت فإن الدقيقة الصغيرة تنتقل من مكانها نتيجة لما تتعرض له من ضربات غير متساوية على جوانبها المختلفة . وقد يتغير اتجاه حركة الدقيقة ذاتها فى اللحظة التالية إذا زادت الضربات عليها من جانب آخر غير الجانب الأول . أما إذا كانت الدقيقة كبيرة فإنها — دون شك — تتعرض لضربات عدد أكبر من الجزيئات فى نفس الوقت . وهذه الضربات الاعتباطية يعادل بعضها البعض تقريباً ، ولذلك تكون الحركة البراونية فى هذه الحالة بطيئة أو معدومة . وارتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى زيادة سرعة الحركة البراونية ، نظراً لزيادة الطاقة الحركية لجزيئات السائل المذيب من جهة ولانخفاض لزوجة الوسط السائل من جهة أخرى .

٥ — **الخواص الكهربية :** تحمل الدقائق الغروانية على الدوام شحنات كهربية موزعة على السطح الكلى لهذه الدقائق . فى بعض الغروانيات تكون

الشحنة التى تحملها الدقائق المنتثرة سالبة وفى بعضها الآخر تكون موجبة ، إلا أن دقائق الغروانى الواحد تحمل كلها شحنة من نفس النوع .

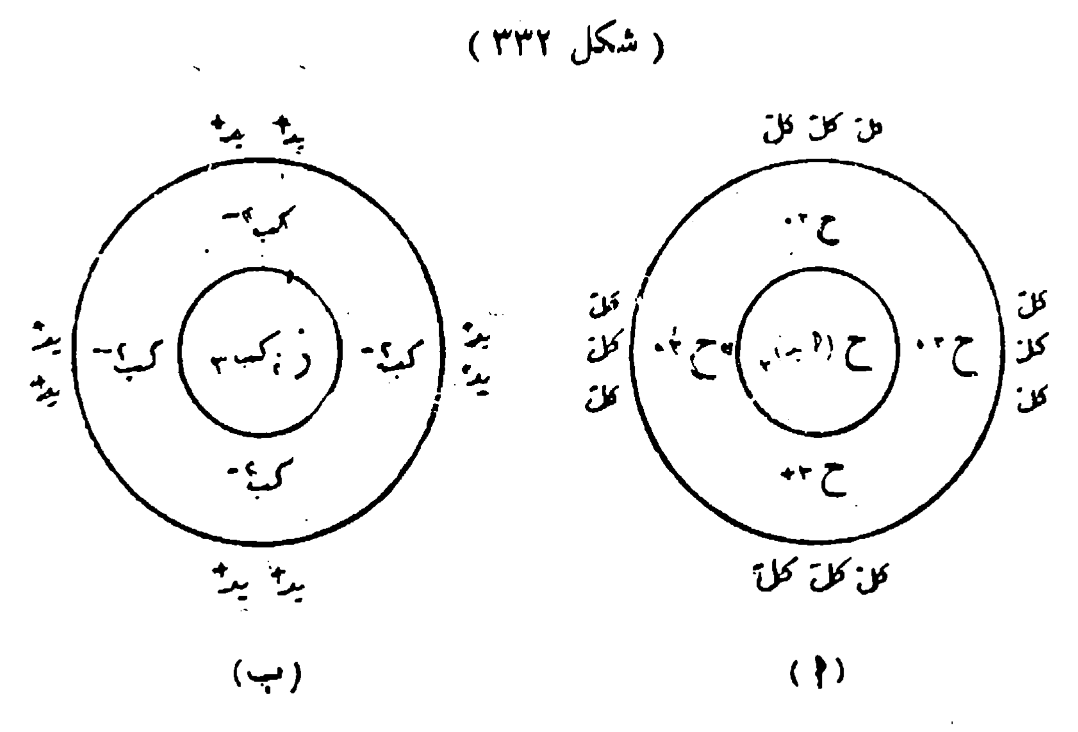
وعلى الرغم من الشحنات السالبة أو الموجبة التى تحملها دقائق الغروانى ، فإن المحلول الغروانى يكون فى مجموعه متعادل الشحنة ، وذلك لأن كل شحنة تحملها دقيقة غروانية تقابلها شحنة مضادة مساوية لها تحملها أيونات موجودة فى وسط الانتثار ، أى أنه عندما تكون الدقائق المنتثرة سالبة الشحنة فإن وسط الانتثار يكون موجبا والعكس بالعكس ، ومن ثم ينشأ تجاذب كهربى بين الشحنات التى على سطح الدقيقة الغروانية وشحنات الأيونات التى توجد فى وسط الانتثار ، ويؤدى هذا التجاذب إلى أن تحاط كل دقيقة غروانية بغلاف من الأيونات المضادة لها فى الشحنة . ويعرف هذا النظام « بالطبقة الكهربية المزدوجة » (Electric double layer) .

وتكتسب الدقائق الغروانية المنتثرة شحناتها الكهربية إما بالتأين أو بالتجمع السطحى . فنى بعض الغروانيات تنشأ الشحنات نتيجة لتأين بعض الجزيئات المكونة للدقيقة الغروانية ، وتنطلق الأيونات السالبة أو الموجبة فى وسط الانتثار لتكون الغلاف الخارجى . وتحتفظ الدقيقة الغروانية بالأيونات ذات الشحنة المضادة ، وتتكون الشحنات الكهربية على دقائق البروتين الغروانية بهذه الطريقة .

وفى أنواع أخرى من المحاليل الغروانية تنشأ الشحنات الكهربية نتيجة لتجمع الأيونات السالبة أو الموجبة لمادة الكتروليتية على سطح الدقيقة الغروانية ، فمثلا الشحنة الموجبة التى تحملها دقائق إيدروكسيد الحديديك الغروانى تعزى إلى تجمع أيونات الحديديك (ح$^{+++}$) الناتجة من تأين كلوريد الحديديك الذى يستعمل عادة فى تحضير غروانى إيدروكسيد الحديديك ، أما أيونات الكلوريد فتكون الغلاف الكهربى الخارجى حول الدقائق (شكل ٣٣٢ ا) . وبالمثل تعزى الشحنة السالبة التى تحملها دقائق كبريتيد الزرنيخ إلى تجمع كبريتيد الإيدروجين المستخدم فى تحضير الغروانى ،

وينتج عن تفكك يد٢ كب انطلاق أيونات الإيدروجين فى وسط الانتشار بينما تحتفظ الدقائق المنتشرة بالشحنة السالبة المتبقية (شكل ٣٣٢ ب) .

(شكل ٣٣٢)



(ب) (أ)

نرى فى (أ) كيفية اكتساب الدقائق الغروانية لإيدروكسيد الحديديك الشحنة الموجبة، وفى (ب) كيفية اكتساب الدقائق الغروانية لكبريتيد الزرنيخ الشحنة السالبة .

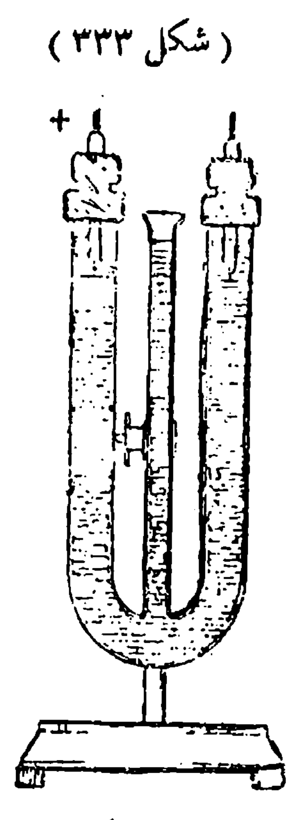
ويعتقد أن بعض المواد تكتسب شحناتها الكهربية من تجمع أيونات الإيدروجين أو الإيدروكسيل – وغالباً الأخيرة – لوسط انتشارها المائى ، فبعض المواد الخاملة – مثل السليلوز والكربون والكلوديون – تكتسب عند ملامستها للماء شحنة سالبة ، مما يدل على تجمع أيونات الإيدروكسيل وبقاء أيونات الإيدروجين لتكوين الغلاف الكهربى الخارجى .

ويمكن الاستدلال على وجود الشحنات الكهربية على الدقائق الغروانية ، وكذلك نوع هذه الشحنات ، بإمرار تيار كهربى بين قطبين من البلاتين ينغمسان فى المحلول الغروانى (شكل ٣٣٣) ، عندئذ تتجه الدقائق الغروانية إلى القطب الكهربى المخالف لشحنتها . فإذا كانت الدقائق الغروانية تحمل شحنة موجبة مثل إيدروكسيد الحديديك فإنها تتجه إلى القطب السالب ،

أما إذا كانت شحنة الدقائق الغروانية سالبة – مثل كبريتيد الزرنيخ – فإنها تتجه إلى القطب الموجب . وتعرف حركة الدقائق الغروانية عند وضع المحلول فى مجال كهربى « بالحمل الكهربى » (Cataphoresis) أو (Electrophoresis) .

ويتوقف نوع الشحنة فى بعض الغروانيات – وخاصة البروتينات – على تركيز أيون الإيدروجين فى وسط الانتشار ، فهى موجبة فى وسط حامضى وسالبة فى وسط أقل حموضة أو قلوى ، أى أنها ذات طبيعة مزدوجة (Amphoteric) . والرقم الإيدروجينى الذى يحدث عنده تعادل الشحنات يسمى « بنقطة التعادل الكهربى » (Isoelectric point) ، وعنده تتجمع الدقائق الغروانية وترسب .

(شكل ٣٣٣)



جهاز الحمل الكهربى ، حيث يوضع الغروانى بوساطة ماصة فى تاج الأنبوبة ، ثم تلاحظ حركة الدقائق فى مجال كهربى .

٦ – الترسيب : سبق أن ذكرنا أن ثبوت محاليل الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار يعزى إلى وجود الشحنات الكهربية التى تحملها دقائقها . فإذا عودلت هذه الشحنات فإن دقائق الغروانى تتجمع فى حبيبات كبيرة ، تنفصل عن السائل المحيط بها ومن ثم يترسب الغروانى .

وتترسب الدقائق الغروانية عادة بإضافة مواد إلكتروليتية . ويكفى لترسيب حجم كبير من غروانى كاره لوسط الانتشار إضافة كمية صغيرة جداً من مادة إلكتروليتية ويعزى الترسيب إلى تأثير الأيونات التى تحمل شحنة مضادة لشحنة الدقائق . فمحلول الطمى الغروانى مثلا يترسب بتأثير الكاتيونات مثل (ص $^{+}$) ، (كا $^{++}$) ، (لو $^{+++}$) ، أما إيدروكسيد الحديديك الغروانى فيترسب بوساطة الأنيونات مثل (كل $^{-}$) ، (كب ا$_{4}^{--}$) ،

(فو ا٤ $^{---}$) ، وتزداد القوة الترسيبية للأيونات بازدياد تكافؤها ؛ فالكاتيون ثلاثى التكافؤ (لو $^{+++}$) أقدر على ترسيب غروانى كبريتيد الزرنيخ السالب الشحنة من الكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل (كا $^{++}$) و (ما $^{++}$) ، وهذه بدورها أقوى أثراً من الكاتيونات أحادية التكافؤ مثل (بو $^{+}$) و (ص $^{+}$) . وفى حالة الدقائق الغروانية الموجبة وجد أن قوة ترسيبها بأيونات (فوا٤ $^{---}$) ، (كب ا٤ $^{--}$) ، (كل $^{-}$) تكون بنسبة ١٠٠٠ : ٣٥ : ١ .

وعند ترسيب الغروانى الكاره لوسط الانتشار لا تكون أيونات الإلكتروليت المضاف التى تحمل شحنة مماثلة لشحنة دقائق الغروانى عديمة الأثر ، بل إنها تعمل عادة على معادلة الأيونات المغلفة للدقيقة الغروانية .

ويمكن أن يحدث الترسيب بإضافة غروانى كاره لوسط الانتشار إلى غروانى آخر من نفس النوع ، ولكن دقائقه المنتثرة تحمل شحنات مضادة لما تحمله دقائق الأول . فإذا أضيف إيدروكسيد الحديديك الغروانى إلى كبريتيد الزرنيخ الغروانى ببطء فإنه عند نقطة معينة يحدث الترسيب التام . ويحدث نفس الشىء إذا أضيفت كمية كافية من غروانى سالب الشحنة إلى آخر شحنته موجبة . وتعرف هذه العملية بالترسيب المتبادل (Mutual flocculation) .

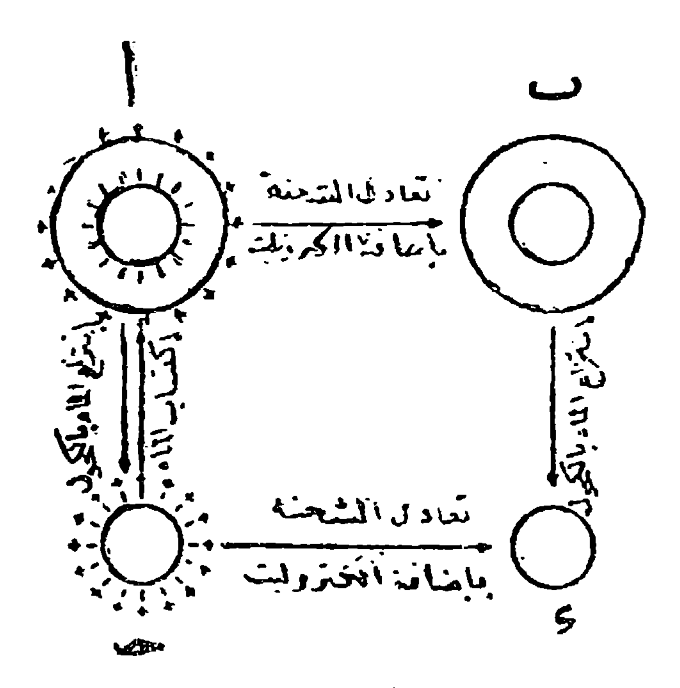
وإذا أضيفت كمية صغيرة من غروانى محب لوسط الانتشار إلى غروانى كاره لهذا الوسط فإن ترسيب الأخير يصبح صعباً أو مستحيلا ، فمثلا إضافة كمية من محلول الجيلاتين إلى غروانى معدن الذهب تكسبه مقاومة ملحوظة لتأثير الإلكتروليتات ، ويعرف هذا التأثير بالفعل الواقى (Protective action) وينتج عن تجميع دقائق الغروانى المحب لوسط الانتشار تجمعاً سطحياً حول دقائق الغروانى الآخر .

وتختلف الغروانيات المحبة لوسط الانتشار عن الكارهة له فى أن ثبوت الأولى يرجع إلى عاملين : أحدهما الشحنة الكهربية ، وثانيهما أغشية السائل

التى تغلف الدقائق الغروانية . ولهذا السبب يحتاج ترسيب هذه الغروانيات إلى التغلب على هذين العاملين ، لأن بقاء أحدهما كاف لإبقاء الغروانى ثابتاً . فإذا أضيفت كمية صغيرة من الكحول ، فإنها تنزع الماء المغلف للدقائق الغروانية ، ومن ثم تصبح خواص الغروانى مطابقة لخواص الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار ، أى أنه يترسب عند إضافة كمية ضئيلة من مادة إلكتروليتية .

ويمكن أيضاً التغلب على عامل الثبوت إذا بدىء بإضافة إلكتروليت حتى تتعادل الشحنات على الدقائق الغروانية ، فإذا أضيف الكحول بعد ذلك إلى الغروانى حدث الترسيب فوراً نظراً لانتزاع الماء المغلف للدقائق . ويلاحظ أنه – على النقيض من الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار – لا تترسب دقائق هذا النوع من الغروانيات بتعادل الشحنات التى تحملها بل تظل معلقة بفعل الأغشية السائلية المغلفة لها .

ويوضح شكل (٣٣٤) الخطوات التى تؤدى إلى ترسيب دقائق الغروانى المحب لوسط الانتشار . (شكل ٣٣٤)



ترسيب دقيقة غروانية من النوع المحب لوسط الانتشار : (أ) تمثل دقيقة غروانية من النوع المحب لوسط الانتشار ، (ب) نفس الدقيقة بعد معادلة شحنتها (جـ) دقيقة غروانية من النوع الكاره لوسط الانتشار ، (د) دقيقة مترسبة .

وهناك مواد إلكتروليتية إذا أضيفت بكمية كبيرة إلى الغروانيات المحبة لوسط الانتشار فإنها تؤدى إلى ترسيبها ، دون أن يسبق ذلك انتزاع الماء بوساطة الكحول أو أى عامل مجفف آخر . ولا تصلح فى هذه الحالة إلا الأملاح شديدة الذوبان ، مثل كبريتات الأمونيوم وكبريتات الماغنسيوم وكبريتات الصوديوم . فإذا أضيف محلول قوى التركيز لأحد هذه الأملاح الثلاثة فإنه يكون ذا أثر قوى مزدوج ، ذلك أن كمية ضئيلة منه تستخدم فى معادلة الشحنات الكهربية ثم تنتزع بقيته أغلفة الماء بشراهة نظراً لشدة تركيزها .

ومن الجدير بالذكر أن الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار متى ترسبت لايمكن إعادتها إلى الحالة الغروانية بالطرق الطبيعية ، ولذلك تسمى غروانيات عديمة الانعكاس (Irreversible colloids) . أما إذا ترسبت الغروانيات المحبة لوسط انتشارها فإنه من الممكن أن تعود إلى الحالة الغروانية ثانية . وذلك بإضافة كمية جديدة من وسط الانتشار ، ومن ثم تعرف هذه الغروانيات بالغروانيات القابلة للانعكاس (Reversible colloids) .

ويستفاد من ظاهرة الترسيب فى تجميع دقائق الطين الغروانية ذات الشحنة السالبة بإضافة أملاح الكالسيوم إلى التربة الطينية ، وبذلك تزداد مسامية التربة فتجود تهويتها وتصبح أكثر ملاءمة لنمو النبات بها ، كذلك تتكون دلتا الأنهار عند التقاء ماء النهر المحمل بالغرين بماء البحر الذى يحتوى على أملاح متأينة تعادل شحنات الطمى السالبة ، فيترسب الطمى وتنتج عن ترسيبه عاما بعد عام دلتا النهر .

٧ — التجمع السطحى أو الامتزاز (Adaorption) : تتميز الطبقة السطحية لأية مادة بخواص طبيعية لاتشترك فيها بقية كتلة هذه المادة . والتوتر السطحى (Surface tension) هو أحد الخواص الهامة ، ومن شأنه أن يجعل هذه السطوح كأنما تعانى شداً . وأكثر ما تكون هذه الظاهرة وضوحاً فى السوائل الملامسة للهواء ، إذ تكون جزيئات الطبقة السطحية معرضة

لجاذبيات جانبية وأخرى نحو الداخل فقط تأتيها من جزيئات السائل المجاورة لها ، ويترتب على ذلك ميل لتقليل عدد الجزيئات عند السطح فتتضاءل مساحته حتى تصل إلى أقل حد ممكن ، وهذه الظاهرة تفسر لنا ميل قطرات السائل لاتخاذ شكل كرى .

وعندما يتلامس سائلان غير قابلين للامتزاج ، فإن السطح الفاصل بينهما يعانى توتراً يقال له « التوتر البينى » (Interfacial tension) ، وهو نتيجة لما تتعرض له جزيئات الطبقة السطحية لكل من السائلين من قوى جاذبية من جزيئات نفس السائل ومن جزيئات السائل الآخر ، ويكون الفرق بين هاتين القوتين معادلا للتوتر البينى لسطح الانفصال .

وتؤثر المواد الذائبة فى أى سائل فى قيمة توتر سطحه الملامس لوسط آخر لايمتزج به ، سواء كان غازياً أو سائلا أو صلباً ، فإذا كانت المواد الذائبة من شأنها أن تخفض التوتر السطحى (كأغلب المركبات العضوية) فإن جزيئاتها تحل محل جزيئات السائل عند السطح الفاصل . وبذلك يصبح تركيز المادة المذابة فيه أعلى من تركيزها فى بقية كتلة السائل . وتسمى هذه الظاهرة — وهى تجمع المواد الذائبة التى من شأنها أن تخفض توتر السطح البينى لصنفين لايمتزجان كالماء والهواء أو الزيت والماء — بالتجمع السطحى أو الامتزاز (Adsorption) . ومن المشاهد المألوفة التى توضح هذه الظاهرة مايلاحظ من تجمع رغوة الصابون عند السطح الفاصل بين الماء والهواء ، وذلك لكى ينخفض التوتر الذى يعانيه هذا السطح .

والدقائق الغروانية — رغم كبرها إذا قورنت بجزيئات المواد العادية — صغيرة جداً بالقياس إلى الدقائق الصلبة التى يمكن رؤيتها ، ومعنى ذلك أن المادة بتحولها إلى الحالة الغروانية تزيد مساحة سطحها المعرضة زيادة كبيرة وهذا يتبعه زيادة مماثلة فى مساحة السطوح الفاصلة بين طورى الغروانى ، الأمر الذى يكسب الغروانيات قدرة كبيرة على التجمع السطحى .

ويمكن أن يتضح التجمع السطحى من التجربة البسيطة الآتية : إذاأضيفت كمية مناسبة من الفحم المنشط إلى محلول مخفف من أزرق الميثيلين ، ثم رشح المخلوط ، فإن الراشح يكون عديم اللون . وتعليل ذلك أن أزرق الميثلين قد تجمع تجمعاً سطحياً على السطوح الفاصلة بين الكربون والماء ، نظراً لأن قوة التجاذب بين جزيئات أزرق الميثيلين ودقائق الفحم أكبر من قوة التجاذب بين جزيئات الأول والماء . فاذا أضيف إلى الفحم فى ورقة الترشيح قليل من الكحول الايثيلى فإن معظم أزرق الميثيلين — إن لم يكن كله — يعود إلى الذوبان فى الكحول ، وذلك لأن الكحول يجذب أزرق الميثلين بقوة تفوق قوة جذب الكربون له ، أى أن الجزيئات المتجمعة سطحياً تنطلق عندما يحل الكحول محل الماء كالسائل المشترك فى تكوين السطح البينى

وتتميز بعض الغروانيات بامتزاز انتخـــابى (Selective adsorption) . أى أنها لا تجمع كل المواد بدرجة واحدة ، بل بدرجات متفاوتة تعتمد على الخواص النوعية لهذه المراد بالنسبة لسطح التجمع .

وتؤثر الشحنات الكهربية فى التجمع السطحى ، ويتضح هذا التاثير عند غمس شرائح من ورق الترشيح الخالى من الرماد فى محاليل الأصباغ الملونة . والمعروف أن مادة هذا الورق تكتسب شحنة سالبة إذا نديت بالماء . فإذا غمست شريحة منه فى محلول صبغ حامضى — كالإيوسين (Eosine) — الذى تحمل أيوناته الملونة شحنة سالبة كتلك التى تحملها ورقة الترشيح ، فإن الماء يرتفع بالخاصة الشعرية خلال ورقة الترشيح حاملا معه المادة الملونة ، إذ أنه نظراً لتشابه الشحنات لاتتجمع الأيونات الملونة تجمعاً سطحياً على مادة ورق الترشيح بل يحدث تنافر يجعلها تنتشر مع الماء تقريباً ، أما إذا غمست شريحة أخرى فى محلول مخفف لصبغ قاعدى— كأزرق الميثيلين — الذى تحمل أيوناته الملونة شحنة موجبة ، فإن الماء يرتفع إلى مثل معدله فى الشريحة الأولى وذلك بالخاصة الشعرية أيضاً ، أما المادة الملونة التى تخالف شحنتها شحنة ورق الترشيح فإنها تنجذب بقوة التجمع السطحى فى منطقة التلامس ولاترتفع مع الماء إلا قليلا .

وللخاصة التجمع السطحى أهمية كبيرة بالنسبة للكائنات الحية . ويبدو أنها تشترك إلى حد ما فى مختلف أنواع النشاط الخلوى . ففى الخلية النباتية يوجد الكثير من السطوح الفاصلة — كتلك التى توجد بين البروتوبلازم والجدار الخلوى وبين النواة والسيتوبلازم — ويحدث عند هذه السطوح دون شك تركيز للمواد الذائبة ، ومن المعتقد أن تجمع مواد معينة عند سطوح السيتوبلازم البينية تؤثر تأثيراً كبيراً على نفاذية السيتوبلازم ، كما يعتقد أن عمل الإنزيمات وغيرها من العوامل المساعدة يعتمد إلى درجة ما على ظاهرة التجمع السطحى . وسنعود المذكر هذه الموضوعات تفصيلا فى مواضعها .

بعد هذا العرض الموجز لخواص المحاليل الغروانية يحسن بنا أن نلخص أوجه الخلاف فى الخواص المميزة لكل من الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار والمحبة له ، ويتضح هذا التلخيص فى (جدول ١٥) .

الخواص الفيزيائية للبروتوبلازم

سبقت الإشارة إلى أن البروتوبلازم مادة غروانية معقدة . وسط إنتشارها عبارة عن محلول مخفف لأملاح مختلفة وسكرات وأحماض أمينية ومواد بللورية أما الطور المنتشر فيتكون أساسا من دقائق البروتين التى تؤلف مع الماء محلولا غروانيا شبه مستحلب يضفى على البروتوبلازم طابعه الخاص ، وإليه يعزى كثير من خواص البروتوبلازم الفيزيائية .

والتجمع السطحى هو إحدى هذه الخواص التى يتميز بها البروتوبلازم ويتضح ذلك عندما توضع الخلايا الحية فى محلول مخفف لمادة ملونة كأزرق الميثيلين ، إذ ينتشر اللون إلى الداخل ، وبعد مدة تصبح شدته فى الخلايا أكبر منها فى المحلول الخارجى ، ويعزى ذلك — دون شك — إلى أن الصبغ قد تجمع تجمعاً سطحياً على السطح الداخلى للبروتوبلازم . والمعتقد أن المواد الموجودة فى محلول التربة تتجمع بطريقة مماثلة على بروتوبلازم الشعيرات الجذرية وغيرها من الخلايا .

جدول (١٥)

بعض أوجه الخلاف فى الخواص المميزة للغروانيات الكارهة لوسط الانتثار (غروانى معدن الذهب ومحلول الطمى فى الماء) ، والمحبة له (محلول النشا فى الماء)

	غروانيات كارهة لوسط الانتثار	غروانيات محبة لوسط الانتثار
١	لا توجد قابلية بين الدقائق الغروانية والسائل المذيب .	توجد قابلية شديدة بين الدقائق الغروانية والسائل المذيب .
٢	لا تختلف لزوجتها كثيراً عن لزوجة السائل المذيب .	لزوجتها أعلى عادة من لزوجة السائل المذيب .
٣	يعزى ثبوتها إلى الشحنات الكهربية المتماثلة التى تحملها دقائقها .	يعزى ثبوتها إلى عاملين هما أغشية السائل المذيب التى تغلف دقائقها والشحنات الكهربية التى تحملها هذه الدقائق .
٤	شديدة الحساسية للكميات الصغيرة من المواد الإلكتروليتية	حساسيتها للمواد الإلكتروليتية ضعيفة إلا إذا أضيفت مادة مجففة تنزع أغشية السائل التى تغلف الدقائق .
٥	غروانيات غير قابلة للانعكاس	غروانيات قابلة للانعكاس
٦	تحضر عادة بطرق خاصة مثل تكثيف دقائق المادة إن كانت متناهية الصغر أو بتجزئتها إلى حبيبات أصغر إن كانت كبيرة .	تحضر بإضافة المادة إلى السائل كما فى تحضير محلول النشا والصمغ الغروانيين .
٧	ذات طبيعة معدنية	ذات طبيعة عضوية عادة .

وثمة خاصة أخرى تعزى إلى طبيعة البروتوبلازم الغروانية هى قدرته على التحول العكسى من الحالة السائلة (Sol) إلى الحالة الهلامية (Gel) . ويحدث هذا التحول فى الخلايا الحية نتيجة للتغيرات فى تركيز أيون الإيدروجين ودرجة الحرارة وغيرهما من العوامل ، ويمكن القول بوجه عام إنه فى درجات الحرارة المنخفضة (صفر ° م) يميل البروتوبلازم إلى الحالة الهلامية ، وفى درجات الحرارة المرتفعة نوعاً يميل إلى الحالة السائلة ، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ٥٠°م فإن جزئيات البروتين المكونة للبروتوبلازم تتجمع تجمعاً غير قابل للانعكاس ، الأمر الذى يفضى إلى موت الخلايا ، وهذا هو الذى يسبب توقف التنفس والبناء الضوئى وغيرهما من أنواع النشاط الخلوى توقفاً تاماً فى درجات حرارة تزيد على ٥٠° م . وقد يحدث تجمع البروتوبلازم فى خلايا بعض النباتات بتأثير عوامل أخرى غير درجة الحرارة ، منها بعض المواد الإلكتروليتية والمؤثرات الكهربائية والميكانيكية وموجات معينة من الطاقة الإشعاعية ، مثل الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس .

وفى البــذور المستنبتة يتحول البروتوبلازم الهلامى الى صورته السائلة بتشربه للماء وقت الإنبات ، وينشأ عن تشرب الجنين للماء وانتفاخه ضغط يؤدى إلى تمزق قصرات البذور ، حتى ولو كانت بالغة القوة .

ومما تجدر الإشارة إليه أن طبيعة البرونوبلازم السائلة قد استمدت من مشاهدة الحركة البراونية لدقائقه المنتثرة ، وبرغم ذلك فإنه يجمع بين صفات المواد السائلة والمرنة بصورة غير مألوفة فى مثله من التراكيب ، فخيوط السيتوبلازم التى يشاهد فيها الانسياب البروتوبلازمى يمكن أن تبدى صفة المرونة (Elasticity) ، فسيتوبلازم الخلايا النباتية على سبيل المثال يمكن أن يسحب بإبرة بالغة الدقة إلى خارج الخلية على هيئة خيط طويل ، لا يلبث عند تركه أن يرتد إلى كتلة السيتوبلازم . ومع ذلك فالسيتوبلازم ليس ثابت المرونة ، ففى بعض الأحيان قد يكون لدناً أكثر منه مرناً . كما أنه عند السيولة العالية يفتقر إلى أى درجة من المرونة .

ويعزى ثبوت البروتوبلازم إلى الشحنات الكهربية التى تحملها دقائقه البروتينية . ويتوقف نوع الشحنة على الرقم الإيدروجينى للسيتوبلازم ، فهى موجبة إذا كان الرقم الإيدروجينى فى الجانب الحامضى لنقطة التعادل الكهربى للبروتين ، وسالبة إذا كان الرقم فى الجانب القلوى لهذه النقطة ، أى أن بروتينات السيتوبلازم ذات طبيعة مزدوجة ، تسلك مسلك الكاتيونات أو الأنيونات معتمدة فى ذلك على تركيز أيون الإيدروجين فى الوسط الذى توجد به .

ولما كان السيتوبلازم معقد التركيب فمن الأرجح أن يكون له مدى للتعادل الكهربى ، وقد قدر بعض الباحثين مدى التعادل الكهربى لبروتينات السيتوبلازم فى قمم جذور عدد من النباتات ، ووجد أنه يتراوح بين ٤,٦ — ٥ ، ويقع الرقم الإيدروجينى للسيتوبلازم عادة على الجانب القلوى لهذا المدى ، وعلى ذلك فمن المتوقع أن تكون شحنة دقائقه سالبة ، غير أنه قد تبين فى بعض الأحيان أن دقائق السيتوبلازم تحمل شحنة موجبة عزيت إلى تراكم حمض الكربونيك فى الخلايا .

وإذا تصادف — لأى سبب من الأسباب — أن اقترب الرقم الإيدروجينى لمحتويات الخلية من نقطة التعادل الكهربى للبروتينات الموجودة فإن الأخيرة تتجمع وتنفصل عن المحلول ، ويتسبب عن ذلك نتائج وخيمة على حياة الخلية ، وليس من اليسير حدوث ذلك فى السيتوبلازم لاحتوائه على مواد مثل أملاح السترات والفوسفات والخلات تعمل على تثبيت درجة حامضيته .

وفى كثير من الخلايا يشاهد السيتوبلازم فى حركة نشيطة ، تكون فى أبسط الحالات عبارة عن دورانه حول الجدار الخلوى من الداخل حاملا معه البلاستيدات والدقائق المرئية . وأسباب الانسياب السيتوبلازمى غير معروفة وهو يزداد بارتفاع درجة الحرارة فى المدى الذى تحتفظ فيه الخلايا بحيويتها ، ويتوقف تماماً فى درجات الحرارة المنخفضة .

الأغشية البلازمية

تتميز معظم الخلايا النباتية بوجود جدار غير حي يحد كل خلية ، ويتكون هذا الجدار فى بادىء الأمر بترسب مادة السليلوز على الصفيحة الوسطى ، ويسمى عندئذ بالجدار الابتدائى ، فإذا أخذت الخلية فى النمو تزايد سمك هذا الجدار بما يترسب عليه من مادة السليلوز أو من مواد أخرى – كاللجنين والكيوتين والسوبرين – إما فى حالة نقية أو مختلطة . ويعرف الجدار فى هذه الحالة بالجدار الثانوى .

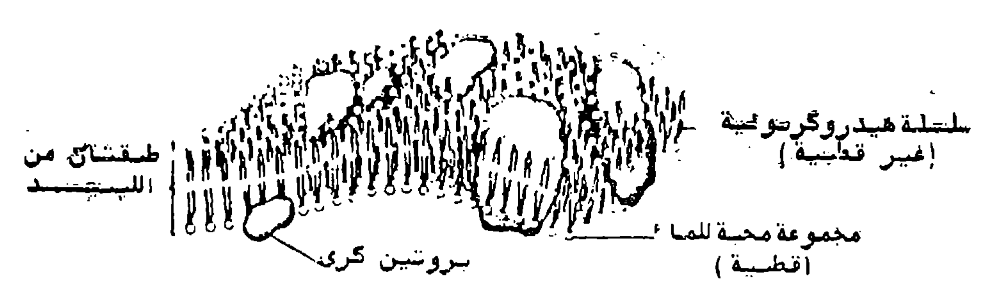
ويبطن الجدار الخلوى غشاء بلازمى رقيق ، يتكون من مادة السيتوبلازم الحية ، ولذلك تختلف صفاته عن صفات الجدار الخلوى فبينما يسمح الأخير بمرور أغلب المواد الموجودة خارجه فإن الغشاء البلازمى يسمح لبعض هذه المواد بالمرور خلاله إلى داخل الخلية ولا يسمح للبعض الآخر . وحين تصل الخلية إلى مرحلة البلوغ يكون قد تكون فيها غشاء بلازمى آخر يغلف الفجوة العصارية حتى لا يختلط البروتوبلازم بالعصير الخلوى . وقد أطلق دى فريز (De Vries) على الغشاء البلازمى الخارجى لفظ إكتوبلاست (Ectoplast) وعلى الغشاء البلازمى الداخلى لفظ تونوبلاست (Tonoplast) .

وتبلغ هذه الأغشية البلازمية حداً من الرقة فى السمك لا يمكن معه رؤيتها بالمجهر ، إلا أن هناك كثيراً من الأدلة التى تؤيد وجودها . وتعتمد بعض هذه الأدلة على استنتاجات نظرية ، أهمها أن السطح الخارجى للبروتوبلازم يمثل سطحاً فاصلا تتجمع عليه بعض المواد التى توجد داخل البروتوبلازم أو خارجه ، ومن ثم تتكون عند سطح البروتوبلازم طبقة رقيقة تختلف عن بقية كتلته فيزيائياً وكيميائياً ، ويعتمد البعض الآخر من هذه الأدلة على مشاهدات عملية ، فقد أدت دراسة سيفريز (Seifriz) للبروتوبلازم بطريقة التشريح الدقيق إلى الاعتقاد فى وجود أغشية بلازمية رقيقة خارج طبقة البروتوبلازم الشفافة فى الفطريات المخاطية والأميبا ، كذلك فإن عدم انتشار البروتوبلازم فى الماء عند نزعه من الخلية ووضعه فيه

يعزى بالدرجة الأولى إلى وجود غشاء سطحي يحتوى مادة شبيهة بالدهن لا تذوب فى الماء ، وإذا مزق هذا الغشاء فإنه سرعان ما يلتئم ، وبالإضافة إلى ما سبق لاحظ تشامبرز (Chambers) عام ١٩٤٤ أنه عند حقن الخلايا النباتية بمحلول مائى لصبغ من الأصباغ فإن الصبغ ينتشر خلال البروتوبلازم ولكنه لا يستطيع النفاذ إلى خارج الخلية .

وحيث أن الغشاءين البلازميين يمثلان السطحين الفاصلين ، بين البروتوبلازم والجدار الخلوى المشبع بالماء من ناحية وبين البروتوبلازم والعصير الخلوى من ناحية أخرى ، فإنهما يتكونان نتيجة لتجمع البروتينات والليبيدات (مركبات دهنية معقدة) وغيرها من مركبات السيتوبلازم والأطوار المتصلة به (الجدار الخلوى المشبع بالماء والعصير الخلوى) ، التى من شأنها أن تخفض التوتر البينى بتجمعها تجمعاً سطحياً عند سطحى الانفصال الخارجي والداخلى . وعلى ذلك فالأغشية البلازمية تتكون من نفس مادة البروتوبلازم تقريباً ، ولكن بنسب خاصة أهمها تلك التى تعتبر الغشاء البلازمى متكوناً من أجزاء ليبيدية وأخرى بروتينية مرتبة بطريقة مبرقشة (Mosaic) ، وتتخلل هذين الطورين ثقوب ضيقة تسمح للجزيئات الصغيرة (كجزيئات الماء) بالمرور خلالها . وأحدث النماذج المقترحة للغشاء البلازمى هو ذلك الذى وصفه سنجر ونيكولسن (Singer and Nicolson) عام ١٩٧٢ والموضح فى شكل (٣٣٥) ويطلق عليه النموذج الموزايكى

(شكل ٣٣٥)



النموذج الموزايكى السائل للغشاء البلازمى وتتضح فيه طبقتان من الفوسفو ليبيدات وتنتشر عند السطح وخلال الغشاء أجسام بروتينيه كبيرة (عن ديفلين ووثام ١٩٨٢)

السـائلى (Fluid mosaic model) ويتكون فيه الغشاء من طبقتين سائلتين من الفوسفوليبيدات بذيولهما الهيدروكربونية الكارهة للماء متجهة للداخل ورءوسهما المحبة للماء على سطحى الغشاء ، وينتشر بين الفوسفوليبيدات بروتين كرى فى صورة تشبه عدداً من كرات تنس الطاولة مختلفة الأوزان ومبعثرة فى بركة من سائل لزج . وقد يكون البروتين انزيمياً أو تركيبياً كما قد يختلف نوع الفوسفوليبيد بين أغشية الخلية المختلفة . وقد أمكن بهذا النموذج تفسير نفاذية الخلية للمواد المختلفة وسيأتى ذكر ذلك تفصيلا فى باب النفاذية .

الباب الثلاثون

الخاصة الأزموزية

إذا كان لدينا محلول يحتوى على ١٠ ٪ من وزنه سكر قصب و ٩٠ ٪ من وزنه ماء ، ووضعناه فى إناء ، ثم صببنا فوقه بعناية طبقة من الماء النقى (أى المكون من ١٠٠ ٪ ماء) ، فإنه تبعاً لقوانين الانتشار تنتشر جزيئات السكر من أسفل إلى أعلى ، أى من المحلول المركز إلى الماء النقى حيث يكون تركيز السكر صفراً فى المائة . وتنتشر جزيئات الماء من أعلى إلى أسفل ، أى من المنطقة التى تحتوى على ١٠٠ ٪ ماء إلى المنطقة التى تحتوى على ٩٠ ٪ منه . أما إذا فصلت طبقتا السائلين بغشاء ، فإن ما سيحدث يتوقف على طبيعة هذا الغشاء ، فإذا كان الغشاء ذا ثقوب واسعة تسمح لجزيئات المادة المذابة والمذيب بالمرور خلالها امتزج السائلان على حسب قوانين الانتشار العادية ، ومثل هذا الغشاء يسمى غشاء منفذاً (Permeable membrane) ، وإذا كان الغشاء غير مثقب على الإطلاق — كلوح من الزجاج مثلا — بقى السائلان على حالهما دون أى امتزاج ، ويقال لمثل هذا الغشاء إنه غير منفذ (Impermeable) أما إذا كان الغشاء ذا ثقوب صغيرة تسمح لجزيئات المذيب بالمرور خلالها ، على حين لا تسمح لجزيئات المادة المذابة بالنفاذ ، فإن جزيئات الماء تنفذ خلال الغشاء من طبقة الماء النقى إلى المحلول السكرى ، فإذا كان هناك ما يقاوم تلك الزيادة فى الحجم ، فإنه ينشأ عن ذلك ضغط على الجدر يطلق عليه اسم « الضغط الأزموزى » (Osmotic pressure) ، أما انتقال الماء خلال الغشاء فيطلق عليه « الخاصة الأزموزية » (Osmosis) ، وأول من شاهد هذه الخاصة هو آب نوليت (Abbé Nollet) عام ١٧٤٨ .

وعندما يفصل غشاء من النوع الأخير بين محلولين مختلفى التركيز من سكر القصب فإن الماء ينفذ خلال هذا الغشاء من المحلول الأقل تركيزاً إلى المحلول

الأكثر تركيزاً حتى يتساوى تركيز المحلولين على جانبى الغشاء ، أى أن الخاصة الأزموزية تهدف إلى إيجاد حالة اتزان على جانبى الغشاء . وحينما يشار إلى حركة المذيب عند دراسة الخاصة الأزموزية فإنه يقصد بذلك محصلة هذه الحركة ، إذ أن جزيئات السائل تتحرك عبر الغشاء فى كلا الاتجاهين دائماً ، إلا أنه فى كل وحدة زمنية يمر عدد من الجزيئات فى أحد الاتجاهين أكبر مما يمر فى الاتجاه الآخر ، وتكون محصلة الحركة دائماً من المحلول المخفف إلى المحلول المركز ، أى من المنطقة ذات الضغط الانتشارى العالى للمذيب إلى المنطقة ذات الضغط الانتشارى المنخفض له .

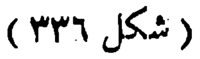
ويطلق على الأغشية التى تسمح لجزيئات المذيب بالمرور ولا تسمح لجزيئات الذائب إسم « أغشية شبه منفذة » (Semipermeable membranes) منها ما هو طبيعى كأغشية الخلية وغشاء المثانة الحيوانى ، ومنها ما هو صناعى كورق البارشمنت والسيلوفين وغشاء الكلوديون. وفى الحقيقة يكاد لا يوجد غشاء شبه منفذ تام ، فكل هذه الأغشية المشار إليها تسمح بمرور بعض المواد خلالها بدرجات متفاوتة ، ولا تسمح لبعضها الآخر بالمرور ، ولذلك يحسن أن توصف بأنها أغشية ذات نفاذية تفاضلية (Differentially permeable membranes) »

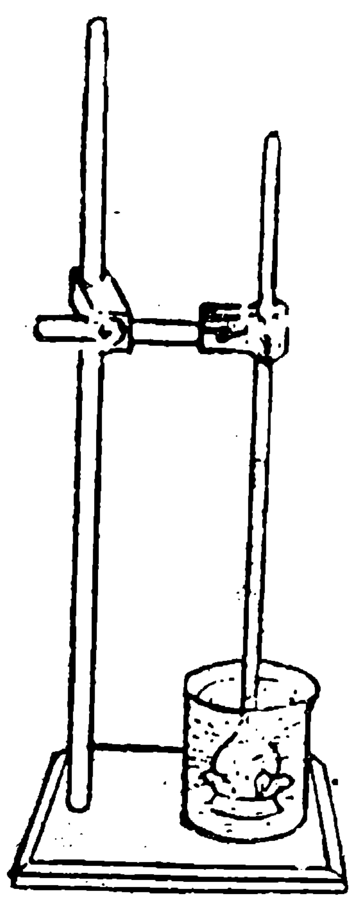
أنواع الأجهزة الأزموزية الصناعية :

أبسط هذه الأجهزة وأكثرها تداولا فى معامل الدراسة هو قمع ثيسل (Thistle funnel) وهو قمع ذو ساق طويلة يربط حول فوهته ربطاً محكما غشاء من ورق البارشمنت أو غشاء من مثانة حيوان . فإذا وضع فى هذا القمع محلول مركز من سكر القصب ، ثم غمس فى ماء مقطر بحيث يكون سطح المحلول فى ساقه محاذياً لسطح الماء فى الخارج ، فإننا نلاحظ بعد مدة ارتفاع السائل فى ساق القمع (شكل ٣٣٦) ، مما يدل على انتشار الماء من الخارج إلى المحلول الداخلى بالخاصة الأزموزية . ويستمر الارتفاع لفترة من الزمن ، وإن كان معدله يتناقص باستمرار نظراً لانخفاض التركيز فى الداخل ، ويقف ارتفاع المحلول فى ساق القمع عندما يصبح الضغط الذى يبديه عمود المحلول

من القوة بحيث يكفى لدفع جزيئات الماء إلى الخارج بنفس السرعة التى تنتشر بها إلى الداخل .

وبعد أن يصل المحلول فى ساق القمع إلى أقصى ارتفاعه يبدأ فى الانخفاض . ويعزى ذلك إلى تسرب بعض جزيئات السكر إلى الخارج خلال الغشاء ذى النفاذية التفاضلية ، وهذا – بالإضافة إلى ضغط عمود السائل – يؤدى إلى انتشار جزيئات الماء إلى الخارج ، فإذا بقى الجهاز زمناً كافياً فإن عمود السائل يعود إلى سابق مستواه ، وحينئذ يكون تركيز السكر على جانبى الغشاء متماثلا .


(شكل ٣٣٦)


قمع تبدل لتوضيح الخاصة الأزموزية، ويلاحظ ارتفاع المحلول فى الساق، نتيجة لاندفاع الماء من الخارج إلى الداخل

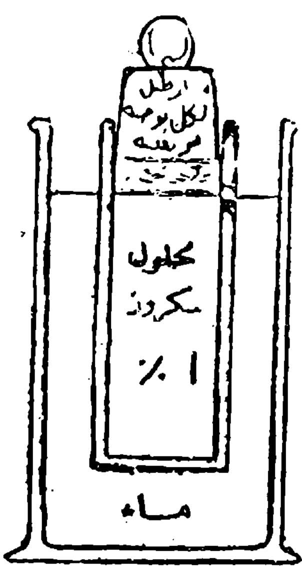
أما إذا كان الغشاء المستعمل لايسمح لجزيئات السكر بالمرور خلاله ، فإن عمود السائل فى ساق القمع يصل إلى أقصى ارتفاع ممكن ، ولا ينخفض مطلقاً إلا إذا فقد الغشاء طبيعته شبه المنفذة .

ومن أحسن نماذج الأغشية شبه المنفذة غشاء حديدو سيانور النحاس الذى اكتشفه تراوب (Traube) عام ١٨٦٧ ، ويحضر هذا الغشاء بوضع بللورات من كبريتات النحاس فى محلول مخفف من حديدو سيانور البوتاسيوم فيترسب حول البللورات غشاء شبه منفذ من حديدو سيانور النحاس يسمح بمرور الماء من المحلول الخارجى المخفف إلى الداخل حيث تكون البللورة محلولا مركزاً . وينتج عن دخول الماء ضغط يسبب تمزق الغشاء فى مكان ضعيف منه ، ولا يلبث هذا الغشاء أن يلتئم بتكوين غشاء جديد حول الجزء

الذى تعرض من البللورة للمحلول الخارجى . وبعدها يعود الماء إلى الدخول مسبباً تمزق الغشاء الذى يلتئم للمرة الثانية وهكذا ، وبعد مدة يكون قد تكونت على سطح البللورة زوائد برعمية كثيرة تأخذ فى مجموعها شكلا شجيرياً .

ونظراً لقابلية هذا الغشاء للتمزق وعدم تحمله الضغوط الأزموزية العالية فقد فكر العالم الألمانى فيفر (Pfeffer) — عام ١٨٧٧ — فى ترسيبه فى مسام وعاء خزفى ، وذلك بأن ملأ وعاءاً مسامياً نظيفاً بمحلول من كبريتات النحاس (٢,٥ جم فى اللتر) ثم غمسه حتى العنق فى محلول من حديدو سيانور البوتاسيوم (٢,١ جم فى اللتر) وتركه بضع ساعات ، فعندما يتلاقى المحلولان فى مسام جدار الوعاء يترسب الغشاء الذى يظل رقيقاً نظراً لعدم إنفاذه لأملاح المحلولين ، ولكنه يتحمل ضغوطاً عالية نظراً لحماية الجدار المسامى له . فإذا ملئ هذا الوعاء بمحلول مركز من سكر القصب ، ثم سدت فوهته بسدادة محكمة من المطاط تنفذ خلالها أنبوبة زجاجية ، ووضع فى ماء مقطر ، فإن الماء ينفذ إلى داخل الوعاء بالخاصة الأزموزية ويسبب ارتفاع السائل فى الأنبوبة الزجاجية حتى يصل إلى نقطة يظل ثابتاً عندها بضعة أيام ، وعندئذ يكون ضغط عمود السائل مساويا للضغط الأزموزى لمحلول السكر .

(شكل ٣٣٧)



معادلة الضغط الأزموزى الناشىء عن محلول ١ ٪ سكر قصب بواسطة ثقل يكفى لمنع مرور الماء خلال الغشاء شبه المنفذ الذى يبدو خلاله النقط .

والضغط الأزموزى — شأنه شأن الضغوط الأخرى — يمكن موازنته بضغط آخر يعمل فى الاتجاه المضاد ، فإذا وضع ثقل مناسب فوق المحلول الأصلى (شكل ٣٣٧) فإن دخول الماء بالخاصة الأزموزية يتوقف ، وأقل ثقل يمكنه أن يحول دون انتقال الماء يبدى ضغطاً إلى أسفل يعادل الضغط

الأزموزى الذى يدفع الماء إلى الداخل ، فإذا كان المحلول يحتوى على ١٪ سكر قصب فإن الثقل اللازم يعادل ½١٠ رطل لكل بوصة مربعة من سطح المحلول الخالص ، وهذا يساوى عموداً من الزئبق ارتفاعه ٥٣ سم ، وكلما زادت قوة المحلول زاد الثقل المطلوب زيادة نسبية .

وعلى ذلك فالضغط الأزموزى لأى محلول هو أقصى ضغط يمكن أن ينشأ فيه عند فصله عن المذيب النقى بغشاء شبه منفذ تام ، وهو يعادل الضغط اللازم إحداثه على محلول ما لمنع دخول الماء إليه خلال غشاء شبه منفذ .

(شكل ٣٣٨)

جهاز لقياس الضغط الأزموزى . يوضع المحلول فى وعاء خزفى رسب فى مسامه غشاء شبه منفذ من حديدو سيانور النحاس ، ويوضع خارجه المذيب النقى ، ويقاس الضغط الأزموزى بوساطة المانومتر ، وهو أقصى ضغط يشاهد (عن توماس) .

ولقد أثبت فيفر — باستخدامه جهازاً كالموضح فى (شكل ٣٣٨) الخاص بالقياس الدقيق للضغوط الأزموزية — أن الضغط الأزموزى لمحلول ما يتناسب تناسباً طردياً مع تركيزه ويوضح (جدول ١٦) نتائج إحدى تجاربه فى تقدير الضغط الأزموزى لمحاليل مختلفة التركيز من سكر القصب.

ولقد أوضح فانت هوف (Van't Hoff) أن سلوك المادة فى المحلول يشبه إلى حد ما سلوك الغازات ، فمن المعروف أن الوزن الجزيئى لغاز مثالى يبدى ضغطاً قدره ٢٢,٤ ضغطاً جوياً عندما يشغل حيزاً قدره لتر فى درجة الصفر المئوى ، كذلك إذا أذيب الوزن الجزيئى لمادة لا تتأين فى لتر من الماء فإنه يعطى ضغطاً قدره ٢٢,٤ ضغطاً جوياً عند درجة الصفر المئوى . ولما كان الضغط الأزموزى .

يتوقف على عدد دقائق المادة فى حجم معين من المحلول فإن المواد التى تتأين فى الماء - كنيترات البوتاسيوم - تعطى ضغوطاً أزموزية أعلى من القيمة المتوقعة وذلك لتفكك جزيئاتها إلى أيونات ، وعلى النقيض من ذلك تعطى المواد التى تتجمع جزيئاتها فى المحلول (المواد الغروانية) ضغوطاً أزموزية أقل كثيراً من القيمة المحسوبة .

(جدول ١٦)

الضغوط الأزموزية لمحاليل مختلفة التركيز من سكر القصب
عند درجة حرارة ثابتة (فيفر)

التركيز (جم فى كل ١٠٠ جم من الماء)	الضغط الأزموزى (ضغط جوى)	الضغط الأزموزى / التركيز = ثابت تقريباً
١	٠,٦٨٦	٠,٦٨
٢	١,٣٤٠	٠,٦٧
٤	٢,٧٥٠	٠,٦٨
٦	٤,٠٤٠	٠,٦٧

ولقد استخدمت طرق كثيرة - غير طريقة فيفر السابق ذكرها - لتقدير الضغط الأزموزى لمحلول ما ، أهما الطرق المبنية على قياس الانخفاض فى ضغط بخار المحلول أو الارتفاع فى درجة غليانه أو الانخفاض فى درجة تجمده عن درجة تجمد المذيب فى حالته النقية ، ثم حساب الضغط الأزموزى من معادلة خاصة فى كل حالة .

علاقة الخلية النباتية بالخاصة الأزموزية

الخلية كجهاز أزموزى :

تعتبر الخلايا النباتية البالغة الحية أجهزة أزموزية ، إذ أن فجواتها العصارية الكبيرة ممتلئة بمحلول مائى لكثير من المواد كالسكرات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والعضوية التى من شأنها أن تزيد التركيز الأزموزى للعصير الخلوى . ويحيط بالفجوة العصارية فى كل خلية طبقة رقيقة من

سيتوبلازم يحدها من الداخل والخارج غشاءان بلازميان يعملان — بالإضافة لى طبقة السيتوبلازم التى يحصرانها بينهما — كغشاء ذى درجة عالية من نفاذية التفاضلية ، أما جدار الخلية السليلوزى فيعمل غالباً كغشاء منفذ ، سمح للماء بالمرور بحرية تامة .

البلزمة :

تتوقف الظواهر الأزموزية للخلية على درجة تركيز الوسط الخارجى ، إذا وضعت خلية لها نفس التركيب السابق فى محلول زائد التركيز (Hypertonic) ى ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى للعصير الخلوى — فإن الماء ينتقل من داخل الخلية إلى خارجها ، وينتج عن ذلك نقص فى حجم العصير لخلوى يتبعه إنكماش فى حجم الخلية ، ويفقد الجدار توتره ويرتخى . وإذا ستمر فقد الخلية للماء تقلص البروتوبلازم بعيداً عن الجدار الخلوى ، وبدا — ى بعض الأحيان — كـكتلة متكورة فى فراغ الخلية يفصلها عن الجدار جزء من المحلول الخارجى. ويقال للخلية فى هذه الحالة إنها «متبلزمة» (Plasmolysed) وتسمى الظاهرة «بلزمة» (Plasmolysis) ، وعند نهاية البلزمة يكون الضغط الأزموزى للعصير الخلوى متعادلا مع الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى ويبين (شكل ٣٣٩) التغيرات التى تحدث فى الخلية عند بلزمتها .

(شكل ٣٣٩)

خطوات البلزمة فى الخلية : (ا) عند وضعها فى محلول زائد التركيز ، (ب) بعد دقائق قليلة من وضعها فى محلول البلزمة ، حيث بدأ البروتوبلازم يترك الجدار الخلوى عند الأركان ، (ج) نفس الخلية وقد ازداد تبلزمها ونقص حجم جوبتها العصارية .

وإذا بقيت الخلية على حالتها السابقة مدة طويلة ، فإنها تفقد قدرتها على العودة إلى حالتها الطبيعية عند وضعها فى ماء نقى ، ولكن إذا أسرعنا بنقل الخلية المتبلزمة إلى الماء فإنها تستعيد امتلاءها ، إذ بدخول الماء إليها يزداد حجم العصير الخلوى ويعود البروتوبلازم إلى وضعه الطبيعى ، وهذا ما يعبر عنه « بتعادل البلزمة » (Deplasmolysis) .

ومما تجدر الإشارة إليه أن المحاليل زائدة التركيز لبعض الذائبات — كسكر القصب — تسبب للخلية بلزمة مستديمة ، على حين تسبب المحاليل المماثلة للجليسرين والبولينا بلزمة موقتة ، تتخلص منها الخلية بعد فترة وجيزة وهى ما زالت فى المحلول المسبب للبلزمة . والسبب فى ذلك أن جزيئات الماء تنفذ خلال الأغشية البلازمية بمعدل أكبر من نفاذية جزيئات أى مادة ذائبة فيه كذلك تنفذ جزيئات هذه المواد خلالها بدرجات متفاوتة ، فعند وضع الخلية فى محلول الجليسرين مثلا يخرج الماء من الخلية بدرجة أسرع من دخول جزيئات الجليسرين إلى فجوتها ، ويترتب على ذلك حدوث بلزمة موقتة يعقبها تساوى تركيز المادة فى الداخل والخارج نتيجة دخول جزيئاتها إلى الفجوة ، وعلى ذلك تستعيد الخلية حالتها الطبيعية . أما عند وضع الخلية فى محلول السكر فإن الماء يخرج منها وتحدث البلزمة كما فى الحالة السابقة ، إلا أنه نظراً لبطء انتشار جزيئات السكر خلال الغشاء البلازمى فإن البلزمة تستمر مدة طويلة .

الضغط الأزموزى وضغط الامتلاء وقوة الامتصاص الأزموزية للخلية النباتية :

لدراسة القيم الأزموزية للخلية النباتية نفترض وجود خلية بالغة منفردة ، إذا غمست مثل هذه الخلية فى محلول له نفس تركيز العصير الخلوى — أى سوى التركيز (Isotonic) — تنشأ حالة من الاتزان الديناميكى ، وتكون محصلة الحركة المائية مساوية صفراً . أما إذا وضعت الخلية فى ماء نقى (ضغطه الأزموزى يساوى صفراً) فإن الماء ينفذ خلال أغشيتها من الوسط الخارجى

— حيث تركيز الماء ١٠٠ ٪ — إلى فجوة الخلية حيث تركيز الماء أقل من ذلك وينتج عن هذا الامتصاص الأزموزى نقص فى تركيز العصير الخلوى وزيادة فى حجمه ، تسبب تمدد الطبقة البروتوبلازمية التى تضغط بدورها على الجدار الخلوى المرن ، ويقال للخلية فى هذه الحالة أنها فى حالة انتفاخ أو امتلاء (Turgor) ، كما يقال للضغط الذى تبديه محتويات الخلية على الجدار الخلوى وتعارض به دخول الماء إليها ضغط الامتلاء (Turgor pressure) ، وهذا الضغط يساوى دائماً فى القيمة — ولكنه يضاد فى الاتجاه — ضغط الجدار (Wall pressure) الذى يعارض زيادة الخلية فى الحجم .

فإذا رمزنا الضغط الأزموزى للعصير الخلوى بالحرف (ض) ، ولضغط الامتلاء بالحرف (م) ، فإن القوة التى يدخل بها الماء إلى فجوة الخلية تعادل (ض — م) ، ويطلق عليها قوة الامتصاص الأزموزية (Osmotic suction force) أو نقص الامتلاء (Turgor deficit) ، أو نقص الضغط الانتشارى (Diffussion pressure deficit "DPD") ، وسنستعمل فى شرحنا الاصطلاح الأول لوضوح دلالته . فإذا رمزنا له بالحرف (ص) تكون :

ص = ض — م

هذا إذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً ، أما إذا كان محلولا له ضغط أزموزى معين فإن هذا من شأنه أن يقاوم دخول الماء الخلية ، أى يعمل جنباً إلى جنب مع ضغط الامتلاء ، وعلى ذلك إذا رمزنا للضغط الأزموزى للمحلول بالحرف (ضَ) فإن قوة الأمتصاص الأزموزية للخلية فى هذه الحالة تكون :

ص = ض — ضَ — م

= ض — (ضَ + م)

فإذا كانت قوة الامتصاص الأزموزية للخلية موجبة استمر دخول الماء إلى فجوتها ، وكلما دخلت كمية من الماء يزداد توتر الجدار ويزداد ضغط الامتلاء ، وحين تصل مرونة الجدار الخلوى إلى نهايتها القصوى يقف تبادل الماء بين فجوة الخلية والوسط الخارجى ، وتصبح الخلية فى حالة اتزان ، ويقال لها فى هذه الحالة إنها تامة الامتلاء (Fully turgid) .

وحيث أن قدرة الخلية على إمتصاص الماء (قوة الامتصاص الأزموزية) عند الامتلاء التام تساوى صفراً . فإنه فى هذه الحالة تكون :

ض = ضَ + م

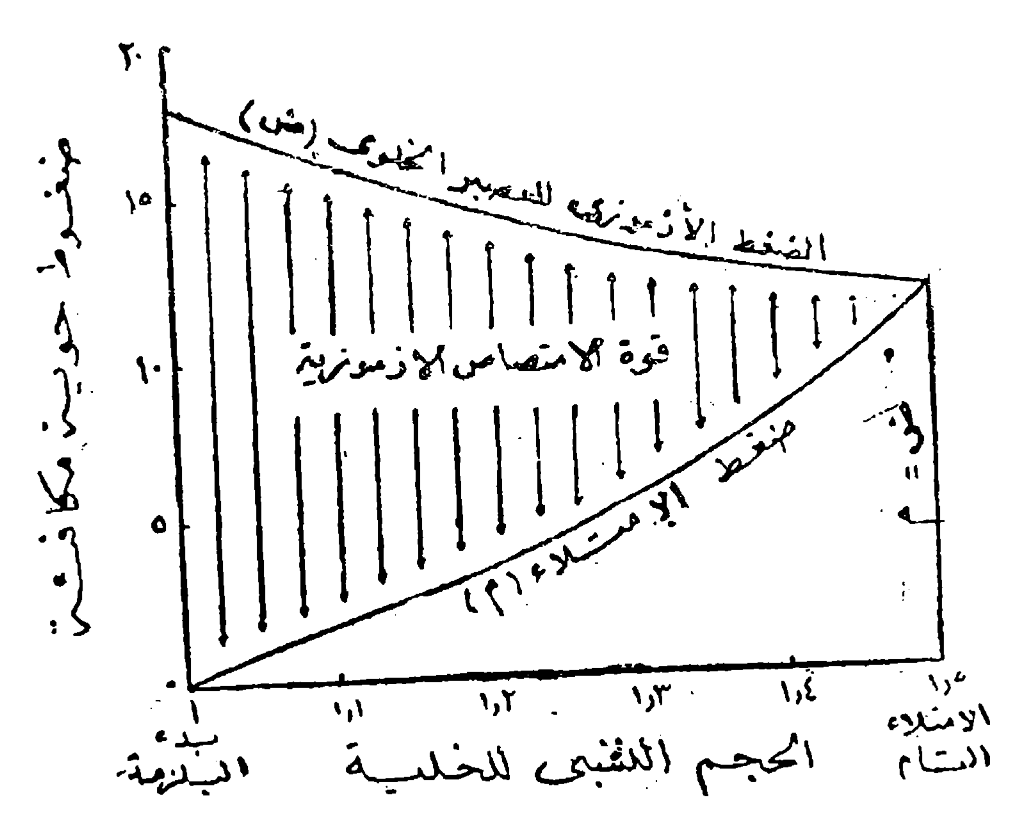
وإذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً ، أى ضَ = صفراً فإن :

ض = م   أو   ض – م = صفراً

أى أنه فى حالة الاتزان تكون قوة الضغط الأزموزى للعصير الخلوى التى تدفع الماء إلى داخل الخلية متعادلة مع ضغط الامتلاء الذى يعارض دخول الماء إليها .

ويوضح (شكل ٣٤٠) التغيرات فى قيمة الضغط الأزموزى وضغط الامتلاء وقوة الامتصاص الأزموزية ، التى تصحب التغيرات فى حجم الخلية. وتبدأ هذا التغيرات من حالة الارتخاء – حيث يكون ضغط الامتلاء مساوياً صفراً – إلى حالة الامتلاء التام حيث تكون ض = م .

شكل (٣٤٠)



العلاقة بين الضغط الأزموزى وضغط الامتلاء وقوة الامتصاص الأزموزية والحجم الخلوى لخلية نباتية وضعت وهى عند بدء البلزمة – أو بدء الامتلاء – فى ماء نقى حتى بلغت حالة الامتلاء التام

التحركات المائية داخل النبات :

يتضح مما سبق أن دخول الماء إلى الخلية يتوقف على قوة الامتصاص الأزموزية بها وليس على قيمة الضغط الأزموزى لعصارتها . وقد لايكون لاختلاف الضغط الأزموزى دخل فى انتقال الماء من خلية إلى أخرى ، إذ يحدث – تحت ظروف معينة – أن يمر الماء من خلية ذات ضغط أزموزى عال إلى أخرى ملاصقة لها ذات ضغط أزموزى منخفض ، وذلك عندما يكون ضغط الامتلاء للخلية الأولى أكبر منه للخلية الثانية . ويوضح (شكل ٣٤١) مثلا لذلك ؛ ومنه يتبين أنه على الرغم من أن الضغط الأزموزى للخلية (ا) أعلى من الضغط الأزموزى للخلية (ب) إلا أن الماء لاينقل من (ب) إلى (ا) كما كان متوقعاً ، بل ينتقل من (ا) إلى (ب) لأن قوة الأمتصاص الأزموزية للثانية أعلى منها للأولى ، كما يتضح مما يلى :

(شكل ٣٤١)

(ا)	(ب)
ض = ١٢	ض = ١٠
م = ٦	م = ٢
ص = ٦	ص = ٨

← إتجاه مرور الماء

رسم تخطيطى لخليتين متجارتين (ا،ب) لبيان آلية حركة الماء من خلية إلى خلية ، وهى تتبع كما يرى قوة الامتصاص الأزموزية .

الخلية (ا) : ص = ١٢ – ٦ = ٦ ضغطاً جوياً

الخلية (ب) : ص = ١٠ – ٢ = ٨ ضغطاً جوياً

ويستمر الماء فى حركته المحصلة من (ا) إلى (ب) حتى تتساوى قوة الامتصاص الأزموزية لكل من الخليتين .

ومع أن الآلية الأزموزية هى التى تحكم معظم التحركات المائية داخل النبات من خلية إلى خلية ، إلا أن بعض التحركات المائية تحكمها فى المقام الأول خاصة التشرب (Imbibition) ، فالخلايا التى لا توجد بها فجوات عصارية أو ذات الفجوات العصارية الصغيرة – وكذلك الخلايا التى تحتوى على قدر كبير من الغروانيات المحبة للماء – يلعب التشرب دوراً رئيسياً فى إنتقال الماء إليها . وكذلك عندما تفقد جدر خلايا النسيج الوسطى فى الورقة

بعض مائها فى عملية النتح ، إذ أن الماء ينتقل إليها من البروتوبلازم ، ثم ينتقل من الفجوة العصارية إلى البروتوبلازم ، وتستمر حركة الماء هذه طالما ظلت قابلية الجدار للتشرب أعلى من قوة الامتصاص الأزموزية للعصير الخلوى .

وقد لوحظ فى المراحل الأخيرة لنمو البذور فى لوزة القطن أن قوة امتصاصها الأزموزية تفوق ضغطها الأزموزى . وقد عزيت تلك الزيادة إلى كثرة المواد الغروانية القادرة على تشرب الماء فى هذه البذور ، ولذلك لا يكون إنتقال الماء فى هذه الحالة مقصوراً على الآلية الأزموزية بل يتعداها إلى ظاهرة التشرب أيضاً .

إذن فاحتواء الخلايا على مواد غروانية قادرة على التشرب يؤثر فى انتقال الماء من خلية إلى خلية ، بطريقة تتفق أحياناً وتتعارض أحياناً مع الآلية الأزموزية .

تقدير الضغط الأزموزى للعصير الخلوى :

يستعمل فى تقدير الضغط الأزموزى للخلايا والأنسجة النباتية طريقتا البلزمة وانخفاض درجة التجمد .

طريقة البلزمة : تستخدم فى طريقة البلزمة شرائح متماثلة من أنسجة نباتية يسهل بالمجهر تتبع ما يحدث فى بروتوبلازم خلاياها من تغيرات ، مثل قطاعات من جذر البنجر أو خيوط طحلب السبيروجيرا أو أوراق نبات الإلوديا . وتوضع هذه الشرائح فى محاليل من سكر القصب متدرجة التركيز ، ويعتمد مدى التركيزات التى تستعمل على نوع نسيج القطاع المراد تقدير الضغط الأزموزى لعصيره الخلوى ، ويكون الضغط الأزموزى للأنسجة المذكورة عادة ما بين ٠,١ و ٠,٥ جزيئى . وتبقى الأنسجة مغمورة فى المحاليل فترة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ دقيقة ، تفحص بعدها مجهرياً . فإذا شوهدت معظم خلايا النسيج متبلزمة كان معنى ذلك أن المحلول الخارجى أعلى تركيزا من العصير الخلوى . أما إذا لم تشاهد فى النسيج أية بلزمة كان المحلول الخارجى أقل

تركيزا من العصير الخلوى . والمحلول الذى يسبب بلزمة مبدئية فى ٥٠ ٪ من الخلايا يكون ضغطه الأزموزى مساوياً لمتوسط الضغط الأزموزى لخلايا النسيج النباتى المستعمل .

ويحسن عند إجراء هذا التجربة فى المعمل أن تجرى على مرحلتين ، فتحضر محاليل من سكر القصب بتركيزات ٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٣ ، ٠,٤ ، ٠,٥ جزيئى ، ويوضع فى كل منها شريحة من النسيج . فإذا أحدث المحلول ٠,٤ جزيئى مثلا بلزمة واضحة للخلايا فى حين لم تشاهد أية بلزمة فى الشريحة المغمورة فى المحلول ٠,٣ جزيئى ، كان معنى ذلك أن المحلول سوى التركيز يتوسط التركيزين ٠,٣ و ٠,٤ جزيئى . وعليه تحضر محاليل أخرى بتركيزات ٠,٣٢ ، ٠,٣٤ ، ٠,٣٦ ، ٠,٣٨ جزيئى ، ويوضع فى كل منها شريحة أخرى من النسيج ، فالذى يسبب منها بلزمة مبدئية فى ٥٠٪ من الخلايا يكون هو المحلول سوى التركيز . ومما تجدر الإشارة إليه أنه عند بدء البلزمة لايكون هناك ضغط داخلى على الجدار الخلوى ، ومن ثم يكون ضغط الامتلاء مساويا للصفر .

ولما كان الضغط الأزموزى للمحلول الجزيئى لمادة غير الكتروليتية (ومنها سكر القصب) يعادل ٢٢,٤ ضغطا جويا فى درجة الصفر المئوى ، فإنه يمكن حساب الضغط الأزموزى للعصير الخلوى . فإذا فرضنا أن المحلول سوى التركيز كان عند الصفر المئوى ٠,٣٦ جزيئى فإن الضغط الأزموزى للعصير الخلوى يكون ٠,٣٦ × ٢٢,٤ أو ٨,٠٦ ضغطاً جويا .

ولما كان القياس لايجرى عادة عند درجة الصفر المئوى ، فإنه لابد من إجراء تصحيح بالنسبة لدرجة الحرارة التى أجريت عندها التجربة .

والقيمة المقدرة بالطريقة السابقة يطلق عليها إسم « الضغط الأزموزى » عند بداية البلزمة ، وهى عادة أعلى من الضغط الأزموزى الحقيقى للخلايا ، إذ أن البلزمة يسبقها عادة نقص حجم الخلايا ، ويؤدى ذلك طبعاً إلى زيادة تركيز عصيرها الخلوى .

طريقة انخفاض درجة التجمد : أما تقدير الضغط الأزموزى بقياس الانخفاض فى درجة التجمد فيعتمد على أن الذائبات تخفض درجة تجمد الماء ويتناسب الانخفاض طرديا مع كمية هذه الذائبات فى المحلول . فإذا قدرت درجة تجمد المحلول أمكن تقدير تركيزه ، ومن ثم ضغطه الأزموزى . فإذا استخلص العصير من عينة نباتية وقدر الانخفاض فى درجة التجمد أمكن تقدير الضغط الأزموزى من المعادلة الآتية .

$$\text{الضغط الأزموزى} = \frac{٢٢٫٤}{١٫٨٦} \times (\text{الانخفاض المقدر فى درجة التجمد})\ .$$

حيث أن ١٫٨٦ هى قيمة الانخفاض فى درجة تجمد محلول جزيئى من مادة غير متأينة .

تقدير قوة الامتصاص الأزموزية :

بما أن قوة امتصاص الخلية للماء تعتمد على الفرق بين الضغط الأزموزى لعصيرها الخلوى والضغط الذى يعارضه نتيجة لامتلائها (ض — م) فإنه يمكن تقدير هذه القوة بمعادلتها بالضغط الأزموزى لمحلول خارجى . بمعنى أن الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى الذى لايغير من حجم أو وزن الخلايا — بعد وضعها فيه لمدة كافية — يعادل قوة امتصاصها الأزموزى . إذ من المعروف أن المحلول الذى يزيد ضغطه الأزموزى على قوى امتصاص الخلية يسبب بلزمتها ، ومن ثم ينقص حجمها أو وزنها . وبالعكس يؤدى المحلول الذى يقل ضغطه الأزموزى عن قوة امتصاص الخلية إلى أن يزداد حجمها أو وزنها .

ويجب ألا توضع الخلايا المراد تقدير قوة امتصاصها الأزموزى فى الماء حتى لاتصل إلى حالة اتزان تصبح عندها هذه القوة مساوية صفراً .

ويجب الإشارة هنا إلى عدم الخلط بين الطرق التالية لتقدير قوة الامتصاص الأزموزية وبين طريقة البلزمة لقياس الضغط الأزموزى للعصير الخلوى . ففى الطريقة الأخيرة يكون ضغط الامتلاء عند بداية البلزمة مساوياً الصفر ،

وعليه يكون المحلول الخارجى مساوياً فى تركيزه للمحلول الداخلى . أماطرق تقدير قوة الامتصاص الأزموزية فتتضمن البحث عن المحول الذى لايحدث أى تغيير فى ضغط امتلاء الخلايا .

والطرق المستخدمة فى تقدير قوة الامتصاص الأزموزية هى .

١ - طريقة الشريحة أو الطريقة المبسطة (Strip or simplified method) :

فى هذه الطريقة تؤخذ شرائح ضيقة ذات أطوال مناسبة من الأوراق أو البتلات أو السيقان أو أعضاء التخزين وتعين أطوالها - وهى مغمورة فى زيت البرافين - بوساطة مجهر مجهز بمقياس ميكرومترى . ثم تنقل هذه الشرائح إلى محاليل من سكر القصب متتابعة التركيز ، وتبقى فيها فترة من الزمن حتى تحدث حالة اتزان فى كل محلول (من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة حسب نوع النسيج) ، وبعدها تقاس الأطوال مرة ثانية . فيكون الضغط الأزموزى للمحلول الذى لم يغير من طول الشريحة معادلا لمتوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا الشرائح المستخدمة فى التجربة .

٢ - طريقة الوزن (Weight method) : وتستخدم فى تقدير قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا الأنسجة المتضخمة كدرنات البطاطس وجذور البنجر ، فيها توضع مجاميع متماثلة معلومة الوزن من أقراص تؤخذ من مثل هذه الأنسجة فى محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب . وبعد مدة يقدر التغير فى وزن مجاميع الأقراص ، فيكون الضغط الأزموزى للمحلول الذى يظل وزن أقراص البطاطس فيه ثابتاً ممثلا لمتوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا الأقراص .

وقد وجد أن محلولا من سكر القصب قوته ٠,٢٥ جزيئى لم يغير من وزن أقراص درنات البطاطس عند وضعها فيه ، وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا البطاطس مساوية ٦,٥ ضغطاً جوياً . وعند استعمال أقراص من جذور الجزر وجد أن قوة الامتصاص الأزموزية لخلاياها تعادل ١٧ ضغطاً جوياً .

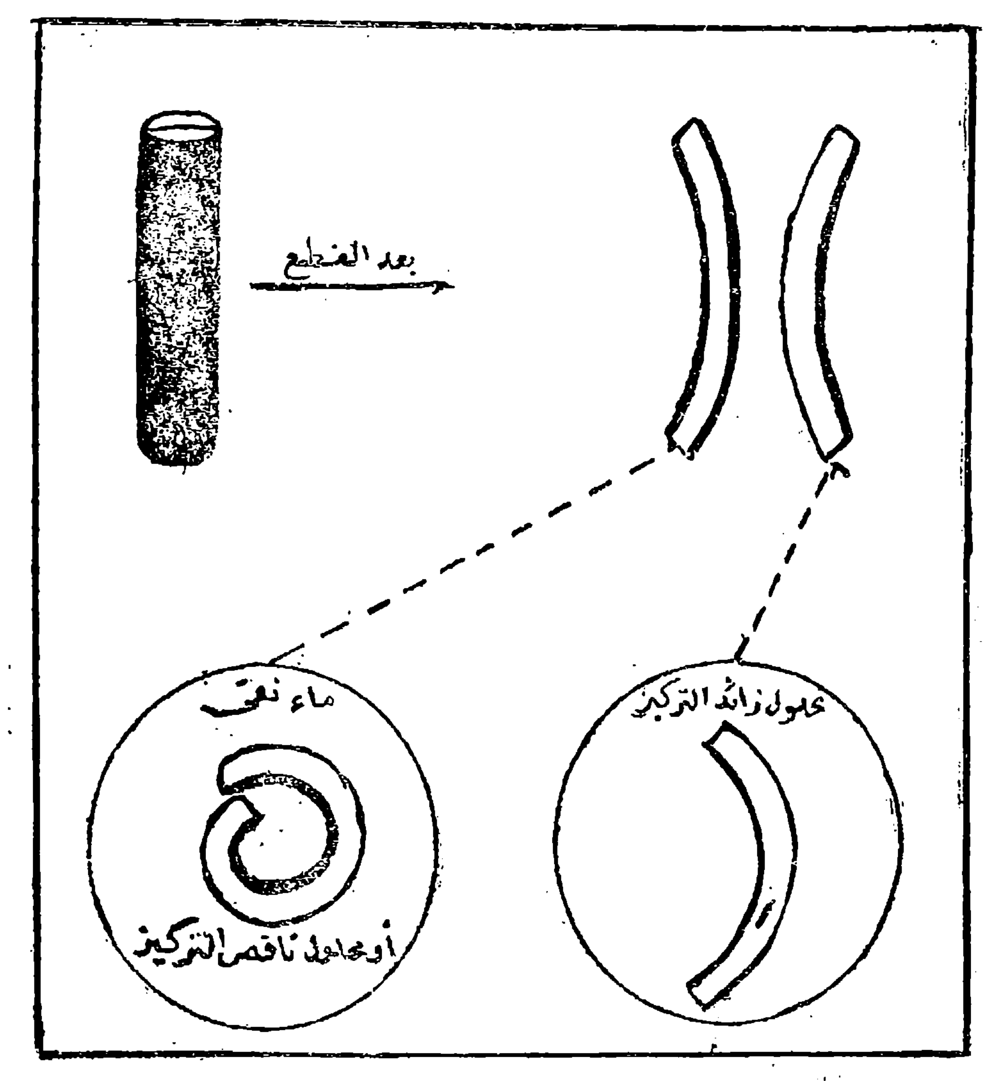
٣ - طريقة التقوس (Curvature method) : وتعتمد على تتبع تقوس الأجزاء النباتية الغضة عند وضعها فى محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب ، فالضغط الأزموزى للمحلول الذى لايتغير فيه تقوس الجزء النباتى يمثل متوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلاياه . وتتلخص الطريقة فى تخير أعناق أوراق حديثة التكوين من نبات الخروع مثلا (يمكن استعمال السويقة تحت الفلقية) ، ويلاحظ قبل قطع هذه الأعناق طولياً أن طبقة البشرة فيها مشدودة نتيجة ضغط خلايا القشرة والنخاع عليها ، وبعد شقها يتقوس كل جزء جهة الخارج قليلا (شكل ٣٤٢) ، وذلك لزوال الشد الذى كان واقعاً على البشرة نتيجة انطلاق الضغط الكامن بين خلايا القشرة والنخاع . فإذا وضعت هذه الأجزاء فى محاليل السكر المختلفة التركيز فإن التقوس الأصلى يتغير تبعاً لتركيز المحلول الخارجى . فإذا كان ناقص التركيز انتقل الماء إلى الخلايا المعرضة من النخاع بقوة الامتصاص الأزموزية ، فيزداد حجمها ، ويتبع ذلك زيادة التقوس الأصلى فى نفس اتجاهه (شكل ٣٤٢) . أما إذا كان المحلول الخارجى زائد التركيز فإن خلايا النخاع تفقد الكثير من ماء عصيرها الخلوى فينقص حجمها ويقل تبعاً لذلك التقوس الأصلى ، وقد يتغير اتجاه التقوس كلية (شكل ٣٤٢) إذا أستمر خروج الماء من خلايا النخاع . أما إذا كان تركيز المحلول الخارجى مساوياً لقوة الامتصاص الأزموزية لخلايا العنق فإن إنحناء الجزء النباتى يبقى ثابتاً ولايتغير ويلاحظ أن خلايا البشرة أقل تأثراً بالمحلول الخارجى من الخلايا الأخرى نظراً لتأدمها .

ولايجاد قوة الامتصاص الأزموزية فى الطرق الثلاث - مقدرة بالضغوط الجوية - تتبع نفس طريقة الحساب التى أشرنا إليها فى تقدير الضغط الأزموزى للعصير الخلوى .

العوامل التى تؤثر على الضغط الأزموزى للخلايا النباتية :

١ - البيئة التى ينمو فيها النبات : يتغير الضغط الأزموزى للخلية بتغير

(شكل ٣٤٢)



طريقة التقوس لقياس قوة الامتصاص الأزموزية . ويرى الى أعلى جزءا العنق بعد قطعه طوليا وقد تقوس كل منهما الى الخارج قليلا . والى أسفل يشاهد انعكاس التقوس الأصلى فى أحد الجزئين بعد فترة من وضعه فى محلول زائد التركيز ، بينما زاد هذا التقوس فى الجزء الآخر بعد وضعه فى محلول ناقص التركيز أو فى ماء نقى .

تركيز الوسط الخارجى الذى يعيش فيه النبات ، ويكون التغير غالباً فى نفس الاتجاه زيادة أو نقصا ولكن ليس بدرجة واحدة . فالضغوط الأزموزية للفطريات والطحالب البحرية تزيد زيادة كبيرة إذا زاد تركيز الوسط الذى تنمو فيه. وقد وجد ماك كول وميلار (McCool and Miller) — عام ١٩١٧ — أن زيادة الأملاح فى التربة ترفع الضغط الأزموزى للنباتات التى تعيش فيها ويوضح (جدول ١٧) نتائج إحدى تجاربهما على نبات الذرة . وتعزى هذه

الزيادة فى الضغط الأزموزى للخلايا إلى زيادة امتصاص الأملاح وتراكمها من جهة ، وإلى تحلل المواد العضوية مثل النشا فى خلايا الجذور عندما يقل دخول الماء إليها كنتيجة لزيادة تركيز الوسط الخارجى من جهة أخرى .

جدول (١٧)

تأثير الضغط الأزموزى لمحلول التربة على الضغط الأزموزى لجذور نبات الذرة

الضغط الأزموزى لمحلول التربة (ضغط جوى)	الضغط الأزموزى لجذور الذرة (ضغط جوى)
١,٢٢	٤,٥٩
١,٩٩	٥,٤٨
٣,٣٩	٦,٦٢
٤,٩٦	٧,٥١
٧,٢٣	٨,١٩

ويختلف الضغط الأزموزى لنباتات البيئات المختلفة ، فالضغوط الأزموزية لمعظم النبـــاتات الوسيطة (Mesophytes) أقل منها فى النباتات الجفافية (Xerophytes) . ولكنها أعلى من الضغوط الأزموزية للنباتات المائيـــة (Hydrophytes) . وتقع الضغوط الأزموزية للنباتات الوسيطة عادة فى المدى مابين ٥ و ٣٠ ضغطاً جويا . ويندر أن ينخفض الضغط الأزموزى فى النباتات الراقية عن ٣,٥ ضغوط جوية .

والضغط الأزموزى للنباتات الملحية (Halophytes) عال نسبياً ،وذلك لأن التربة التى تعيش عليها غنية بالأملاح الذائبة ، وتمتص النباتات كمية كبيرة نسبياً من هذه الأملاح . وأعلى ضغط أزموزى سجل لأى نوع من النباتات هو ٢٠٢,٥ ضغطاً جويا ، وقد وجد فى أحد أنواع جنس الأتريبلكس (Atriplex confertifolia) الذى ينمو فى تربة ملحية .

٢ — نوع النبات : قد يختلف الضغط الأزموزى للأنواع المختلفة من النباتات بغض النظر عن نموها تحت ظروف واحدة (هاريس (Hariss) — عام

١٩٣٤) ، فالضغط الأزموزى لخلايا الأشجار يكون عادة أعلى منه لخلايا الشجيرات والأعشاب . ويقل الضغط الأزموزى فى الحوليات الشتوية عنه فى الأعشاب المغمرة ، كما يتضح من (جدول ١٨) .

جدول (١٨)

متوسط الضغوط الأزموزية لأنواع مختلفة من النباتات (حسب تقدير هاريس ولورانس) .

نوع النبات	الضغط الأزموزى للعصير الخلوى (ضغط جوى)
أشجار وشجيرات	٢٨, ١
نباتات قزمية ونصف شجيرات	٢١,٤٥
اعشاب معمرة	١٦,٣٥
حوليات شتوية	١٤,٧٣

وعند دراسة الضغوط الأزموزية للنباتات كاسيات البذور المتطفلة ، وجد أنها تفوق الضغوط الأزموزية للنباتات العوائل ، كذلك لوحظ أن الضغوط الأزموزية للنباتات العالقة (Epiphytes) منخفضة جداً ، إذ بلغت فى النباتات التى درست نصف قيمة الضغوط الأزموزية للنباتات العشبية تقريباً .

٣ — **مكان الخلية أو النسيج فى النبات :** أوضح كثير من الباحثين أنه كلما قرب مكان النسيج من مصدر الماء أنخفض الضغط الأزموزى لخلاياه . فالضغط الأزموزى فى الجذور أقل منه فى الأوراق عامة ، ويرتفع الضغط الأزموزى فى الأوراق كلما بعد مكانها عن مصدر الماء . فقد وجد أنه بينما يبلغ الضغط الأزموزى لأوراق نوع من جنس الزان **(Fagus grandifolia)** — يرتفع عن سطح الأرض ١٩ قدما — ١٧,٣٣ ضغطا جويا فإنه يصل فى أوراق نفس النبات على أرتفاع ٦٤ قدما إلى ٢١,٩٢ ضغطا جويا .

وقد تتفاوت الضغوط الأزموزية للأنسجة المختلفة التى تكون العضو النباتى الواحد ، فقد وجد أن الضغط الأزموزى يأخذ عادة فى الارتفاع من القشرة إلى الأنسجة الداخلية فى الورقة والساق والجذر .

٤ — **عمر النسيج النباتى** : لاحظ بعض الباحثين أن الضغوط الأزموزية للأوراق حديثة التكوين أعلى منها فى الأوراق المسنة الموجودة على نفس الساق . كذلك لوحظ أن مناطق النمو فى أنواع كثيرة من النباتات ذات ضغوط أزموزية أعلى منها فى أنسجة التخزين المسنة أو الأوراق التى تستمد منها تلك الأنسجة الحديثة غذاءها ، إلا أن تشاندلر (Chandler) — عام ١٩١٤ — قد أوضح أن الضغوط الأزموزية للثمار التى لم تنضج بعد تقل عن الضغوط الأزموزية للأوراق التى تمدها بالغذاء ، ولكن عندماتنضج هذه الثمار يرتفع ضغطها الأزموزى ارتفاعا ملموسا لزيادة نسبة السكرات الذائبة فى عصيرها الخلوى .

٥ — **الأوقات المختلفة من اليوم أو العام** : يختلف تركيز العصير الخلوى للخلايا النباتية من وقت لآخر طول اليوم . ففى الصباح الباكر يكون الضغط الأزموزى لخلايا الأوراق منخفضاً ويأخذ فى الارتفاع حتى يصل إلى أقصاه فى الساعات الأولى بعد الظهر ، ثم ينخفض تدريجياً بعد ذلك . ويعزى ارتفاع الضغط الأزموزى للخلايا أثناء النهار إلى زيادة نشاط البناء الضوئى — وخاصة وقت الظهيرة — وإلى نقص المحتوى المائى للخلايا نتيجة لعملية النتح .

وقد يتغير الضغط الأزموزى للنبات باختلاف فصول السنة ، فقد أوضح مارش — عام ١٩٤٠ — أن الضغط الأزموزى لبعض النباتات يصل فى فصل نموها إلى ضعف قيمته فى أوقات أخرى من العام .

الدور الذى تقوم به الخاصة الأزموزية فى حياة النبات :

(أ) إن امتصاص الماء من التربة بوساطة الشعيرات الجذرية وانتقاله خلال خلايا النبات الحية ليس إلا عملية أزموزية .

(ب) تعمل الخاصة الأزموزية على بقاء الخلايا النباتية فى حالة امتلاء . والخلية الممتلئة تكسب النبات صلابة ، وخاصة فى الأجزاء التى لم تتكون فيها الأنسجة الدعامية كمناطق النمو فى الساق والجذر ، وتساعد هذه الصلابة الجذر على اختراق التربة والساق على الاحتفاظ بقوامها . وليس هذا فحسب ، بل أن الخلايا الممتلئة هى وحدها التى تستطيع أن تنمو وتنقسم وتقوم بسائر عمليات التحول الغذائى .

(جـ) تعمل الخاصة الأزموزية على توزيع الماء فى جسم النبات ، فإذا قل المحتوى المائى فى نسيج ما فإنه نظراً لارتفاع ضغطه الأزموزى يسحب الماء من نسيج آخر مجاور له يكون ضغطه الأزموزى منخفضاً .

(د) تزيد التركيزات الأزموزية العالية مقاومة النبات لدرجات الحرارة المنخفضة والجفاف ، إذ أن زيادة تركيز العصير الخلوى من شأنه أن يخفض درجة حرارة تجمده ويقلل من فقد النبات للماء .

(هـ) ترتبط عملية انتفاح الثغور وانغلاقها بتغير الضغط الأزموزى فى الخلايا الحارسة ، فارتفاع هذا الضغط يصاحبه انفتاح الثغور ، أما انخفاضه فيسبب انغلاقها . وسيأتى ذكر ذلك تفصيلا فى باب تال .

الباب الحادى والثلاثون

نفاذية الخلية للمواد الذائبة

يمتص النبات النامى من الوسط الخارجى بعض المواد الذائبة فى الماء ، ويستفيد منها فى بناء جسمه وفى القيام بوظائفه الحيوية ، وامتصاص المواد الذائبة غير مرتبط بامتصاص الماء ، فكل منهما يتجه إلى حالة اتزان خاصة به .

وقد استعمل لفظ « النفاذية » للدلالة على مدى سماح أغشية الخلية لجزيئات أو أيونات المواد بالمرور خلالها ، إذ من المعروف أنه بينما يسمح الجدار الخلوى غالباً — وليس دائماً — بمرور الماء والأملاح الذائبة خلاله ، فإن الأغشية البلازمية تسمح للماء وبعض المواد الذائبة بالمرور خلالها وتعوق أو تمنع نفاذية بعضها الآخر أى أن الأغشية البلازمية تتميز بخاصة « النفاذية الانتخابية » (Selective permeability) .

وتنقسم المواد الكيميائية التى تنفذها الأغشية البلازمية إلى مجموعتين كبيرتين : تشمل المجموعة الأولى المواد التى لا تتأين فى الماء — كالسكر والكحول الإيثيلى والجليسرين والبولينا — وهذه تتبع فى نفاذيتها قوانين الانتشار البسيطة . أما المجموعة الأخرى فتشمل المواد التى تتأين فى الماء — مثل كلوريد البوتاسيوم ونيترات الكالسيوم — وهذه لا تتبع فى انتشارها قوانين الانتشار البسيطة كما سيتضح فيما بعد ، إذ أن أيوناتها قد تتراكم داخل الخلية ، وفى بعض الأحيان يصل تركيز أيون ما داخل الخلية إلى أضعاف تركيزه فى الوسط الخارجى .

نفاذية الخلايا للمواد الذائبة غير القابلة للتأين :

تتبع هذه المواد فى نفاذيتها قوانين الانتشار البسيط ، بمعنى أنها تنتشر من الوسط الذى يكون تركيزها فيه عالياً إلى الوسط الذى يكون تركيزها فيه منخفضاً ، حتى يتساوى تركيزها داخل الخلية وخارجها .

ولقد قارن العالمان كولاندر وبارلوند (Collander & Barlund) — عام ١٩٣٣ — نفاذية خلايا طحلب كارا Chara لكثير من المواد غير القابلة للتأين وذلك بتقدير الوقت اللازم لكى يصل تركيز المادة داخل الخلايا إلى نصف تركيزها فى الوسط الخارجى وحصلا على النتائج المبينة بالجدول (١٩) .

جدول (١٩)

معدل نفاذية بعض المواد فى خلايا طحلب كارا (Chara)

(عن كولاندر وبارلوند عام ١٩٣٣)

المادة الذائبة فى الوسط الخارجى	الوقت (بالدقيقة) اللازم لوصول تركيز المادة داخل الخلية إلى نصف تركيزها فى الوسط الخارجى	توزيع المادة بين زيت الزيتون والماء (كمية المادة فى الزيت / كمية المادة فى الماء)
الكحول الميثيلى	١,٣	٧٨ × ١٠^{-٤}
اليوريا الميثيلى	١٩٠	٤,٤ × ١٠^{-٤}
اليوريا	٣٢٠	١,٥ × ١٠^{-٤}
الجليسرين	١٧٠٠	٠,٧ × ١٠^{-٤}
السكروز	٤٢٠٠٠	قليل جداً

يتضح من هذا الجدول أن بعض المواد كالكحول الميثيلى تنفذ إلى داخل الخلايا بدرجة كبيرة ، على حين تنفذ مواد أخرى كالجليسرين والسكر فى بطء شديد . وقد عزى هذا التفاوت فى نفاذية المواد غير القابلة للتأين إلى اختلاف قابليتها للذوبان فى المواد الزيتية ، فالمواد التى لها درجة ذوبان عالية فى الدهنيات هى التى تنفذ إلى خلايا الطحلب بسرعة كما هو واضح بالجدول ونظراً لما نعلمه من أن أغشية الخلية البلازمية تتكون أساساً من الليبيدات (Lipids) — وهى مواد دهنية معقدة — فإنه يصبح من السهل تفسير التفاوت فى نفاذية مثل هذه المواد .

وترتبط درجة الذوبان فى الزيت بالتركيب الكيميائى للمادة العضوية ، فالمواد التى تحتوى على مجموعات غير قطبية مثل الميثايل (ك يد$_{٣}$) أوالإيثايل (ك يد$_{٣}$. ك يد$_{٢}$) أو البنزين (ك$_{٦}$ يد$_{٦}$) لها درجة ذوبان عالية فى الزيت ومن ثم تكون نفاذيتها أسرع من المواد التى تحتوى على مجموعات قطبية مثل الإيدروكسيل (ا يد) والكربوكسيل (ك ا ا يد) والأمينو (ن يد $_{٢}$) والألدهيد (ك يد ا) والتى لها درجة ذوبان منخفضة فى الزيت .

وقد يكون التفاوت فى معدل نفاذية هذه المواد راجعاً إلى اختلاف فى حجم جزيئاتها ، فقد وجد أن الجزيئات الصغيرة أسرع نفاذاً من الجزيئات الكبيرة التى لها نفس درجة الذوبان فى الدهن . ومن الأمثلة على ذلك أن سرعة إنفاذ خلايا طحلب كارا لمادة إيثيلين جليكول (ك يد$_{٢}$. ا يد . ك يد$_{٢}$ ا يد) تفوق سرعة إنفاذها لمادة ميثايل يوريا (ن يد$_{٢}$. ك ا . ن يد . ك يد$_{٣}$) رغم تساوى درجة ذوبانها فى الزيت وذلك لأن جزىء المادة الأولى أصغر حجماً من جزىء المادة الثانية .

وقد كان ذلك يفسر فى ضوء النماذج القديمة للأغشية البلازمية (كولاندر وغيره) باعتبارها مرشحات ليبيدية تضم ثقوباً مائية تسمح للمواد الصغيرة الجزيئات بالمرور خلالها . أما فى ضوء النموذج الموزايكى السائلى والتى سبقت الإشارة إليه فى الباب التاسع والعشرين . فإن جزيئات البروتين والماء المرتبط بها يمكن أن تمثل ثقوباً محبة للماء (Hydrophilic holes) تنفذ خلالها الجزيئات التى تذوب فى الماء .

نفاذية الخلايا للمواد الذائبة القابلة للتأين (الإلكتروليتية) :

أوضحت البحوث التى أجريت على امتصاص الأملاح وغيرها من المواد القابلة للتأين خلال الأربعين عاماً الأخيرة أن هذه المواد لا تدخل الخلية عادة فى صورة جزيئات بل إنها — على النقيض من المواد غير القابلة للتأين — تنفذ إلى داخل الخلية فى صورة الأيونات المكونة لها ، وقد تمتص الخلية أيونى

الملح الواحد بدرجتين متفاوتتين ، ولكن امتصاص أحد الأيونين بكمية أكبر لا يمكن أن يحدث — نظراً لتجاذب الأيونات مختلفة الشحنة — دون أن يحل محل هذه الزيادة الممتصة أيون آخر له نفس الشحنة وكميتها . وهناك احتمالان لحدوث هذا الإحلال فإما أن يتأين الماء ويحل أحد أيوناته محل الزيادة الممتصة من المحلول الخارجى ، على حين يصحب أيونه الآخر الأيونات الزائدة التى تدخل الخلية ، أو تخرج من الخلية كمية من الأيونات لها نفس وقيمة شحنة الأيونات الممتصة .

فنيترات البوتاسيوم (بون ا٣) ، مثلا ، تدخل الخلية على أية صورة من الصور الثلاث الآتية :

(أ) إما أن تدخل الأيونات المكونة لها — أى (بو +) و (ن ا٣ $^-$) — فى نفس الوقت .

(ب) أو تدخل على حساب تأين بعض جزيئات الماء ، وذلك فى صورة مجموعات متأينة مثل (يد + ن ا٣ $^-$) أو (بو + ا يد $^-$) . وفى الحالة الأولى يبقى فى الخارج أيون الإيدروكسيل (ا يد $^-$) ليحل محل أيون (ن ا٣ $^-$) الممتص ، أما فى الحالة الثانية فيبقى أيون الإيدروجين (يد $^+$) ليحل محل أيون (بو +) الذى دخل الخلية .

(ح) أو تدخل عن طريق تبادل الأيونات بين الخلية والوسط الخارجى فإذا امتص أيون (ن ا٣ $^-$) خرج بدلا منه أيون يحمل نفس الشحنة وكميتها مثل أيون (يد ك ا٣ $^-$) ، وإذا دخل أيون (بو +) خرج من الخلية بدلا منه أيون (ص +) مثلا وهكذا .

والتفاوت فى امتصاص أيونى الملح الواحد من الظواهر المألوفة ، فقد لاحظ كل من ميرر (Meurer) وروهلاند (Ruhland) أن شرائح جذور الجزر أو البنجر المغمورة فى محاليل من كلوريد البوتاسيوم أو الصوديوم

أو الكالسيوم تمتص الكاتيونات أكثر من الأنيونات ، ولكن شرائح الجزر الموضوعة فى محلول نيترات البوتاسيوم امتصت الأنيون (ن$_3$ا $^-$) أكثر من الكاتيون (بو$^+$) . كذلك لاحظ لوندجورد (Lundegardh) — عام ١٩٤٠ — أن جذور القمح المغمورة فى محلول كلوريد الصوديوم امتصت الأنيون (كل$^-$) بدرجة أكبر من امتصاصها للكاتيون (ص$^+$) .

كذلك تتميز الخلايا النباتية بقدرتها على الامتصاص الانتخابى للأيونات المتشابهة ، فعندما أنمى كولاندر (Collander) — عام ١٩٤١ — نباتات مختلفة فى مزارع مائية متماثلة ، تحتوى بالإضافة إلى العناصر الضرورية تركيزات متساوية من الكاتيونات (ص$^+$) ، (بو$^+$) ، (كا$^{++}$) ، (ما$^{++}$) وجد أن كل النباتات امتصت أيون (بو$^+$) أكثر من الأيونات الثلاثة الأخرى ، وأن غالبية هذه النباتات امتصت أيون (ص$^+$) بدرجة قليلة جداً ، ويمكن القول إجمالا أن الكاتيونات أحادية التكافؤ — مثل (بو$^+$) (ن يد$_4$ $^+$) ، (سز $^+$)— تمتص أكثر من الكاتيونات ثنائية أو عديدة التكافؤ مثل (كا$^{++}$) ، (ما$^{++}$) ، (با$^{++}$) وبالمثل تمتص الأنيونات (ن ا$_3$ $^-$) ، (بر $^-$) ، (كل $^-$) أكثر من الأنيونات عديدة التكافؤ مثل (كب ا$_4$ $^{--}$) .

وثمة حقيقة أخرى بالنسبة لامتصاص بعض الأيونات ، وهى تراكمها فى فجوات الخلايا حتى يصبح تركيزها فى العصير الخلوى أعلى بكثير من تركيزها فى المحلول الخارجى ، فقد لاحظ كثير من الباحثين أن أيون (بو $^+$) يتراكم فى خلايا الطحالب نيتيلا وفالونيا وكارا بدرجة كبيرة ، وخاصة فى خلايا طحلب نيتيلا كما يتضح من الجدول (٢٠) . وليس تراكم الأيونات مقصوراً على الخلايا الطحلبية فحسب ، بل أنه قد تبين بالتجربة أن جذور النباتات الراقية المجزأة وشرائح أعضاء التخزين — مثل درنات البطاطس وجذور الجزر — لها القدرة على تراكم أيونات بروميدالبوتاسيوم إذا غمرت فى محلول مخفف منه .

جدول (٢٠)

تراكم بعض الأيونات فى خلايا الطحالب ، كما
يتضح من مقارنة تركيب العصير الخلوى بتركيب المحلول الخارجى

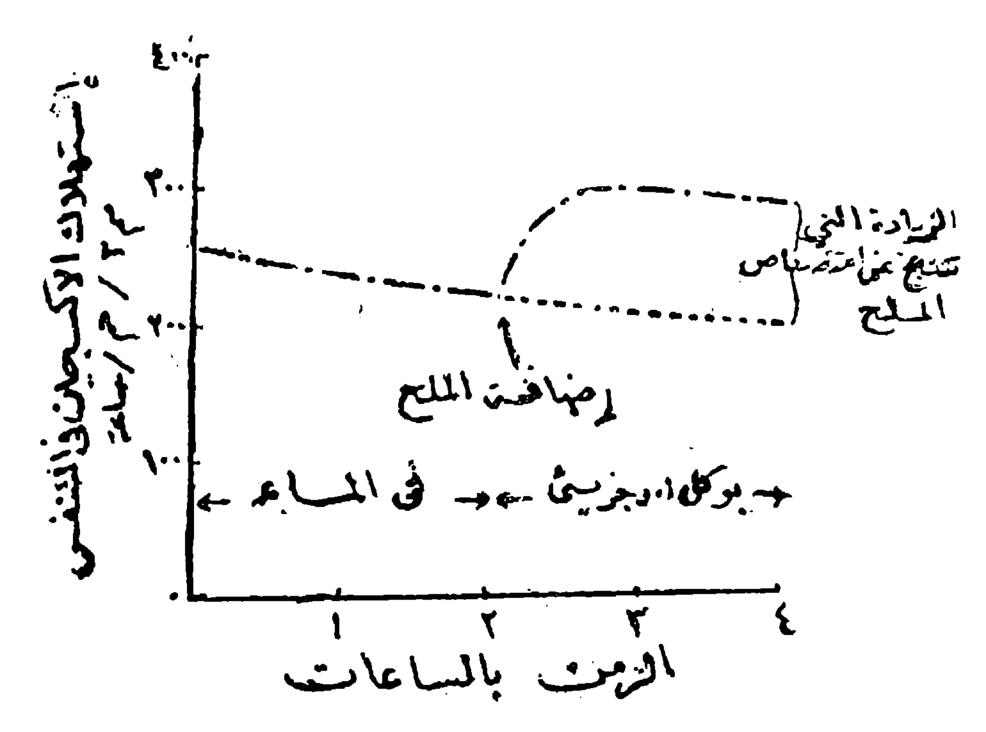
الأيون	نيتيلا (Nitella)			كارا (chara)			فالونيا (Valonia)		
	التركيز فى الخلية جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الخارج جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الداخل / التركيز فى الخارج	التركيز فى الخلية جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الخارج جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الداخل / التركيز فى الخارج	التركيز فى الداخل جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الخارج جزيئى ×١٠^٣	التركيز فى الداخل / التركيز فى الخارج
كل −	٩٠,٨	٠,٩٠٣	١٠٠	٢٢٥	٧٣	٣	٥٩٧	٥٨٠	١, ٠
ص +	١٠	٠,٢١٧	٤٦	١٤٢	٦٠	٢,٣	٩٠	٤٩٨	٠,١٨
بو +	٥٤,٣	٠, ٥١	١٦٥	٨٨	١,٤	٦٣	٥٠٠	١٢	٤٢
كا ++	١٠,٢	٠,٧٧٥	١٣	١٠,٥	٣,٦	٣	١,١	١٢	٠,١٤

ويعتمد تراكم الأيونات فى هذه الأنسجة على عملية التنفس ، فيقل أو ينعدم إذا قل نشاط عملية التنفس ويزداد بزيادتها . وقد لاحظ ميلثورب وروبرتسون (Milthorbe and Robertson) — عام ١٩٤٨ — أن تراكم الأيونات فى جذور الشعير يقابله زيادة كمية الأكسجين المستهلكة فى التنفس (شكل ٣٤٣) .

ويؤثر المحتوى السكرى ودرجة الحرارة فى تراكم الأيونات بطريقة مماثلة لتأثيرها فى التنفس . فقد وجد هوجلاند وبروير (Hoagland & Broyer) — عام ١٩٣٦ — أن تراكم أيونات البوتاسيوم والنيترات وغيرهما فى جذور الشعير المجزأة يزداد بارتفاع درجة الحرارة ، ومن تجارب أخرى اتضح أن أنسجة الجذور ذات المحتوى المنخفض من السكر لها قدرة ضئيلة نسبياً على تراكم الأيونات .

كذلك يؤثر تركيز المادة فى المحلول الخارجى فى درجة تراكمها ، فزيادة تركيز أيون البروميد فى المحلول الخارجى يرفع تركيزه فى العصير الخلوى ،

(شكل ٣٤٣)



معدل استهلاك الأكسجين في تنفس جذور الشعير ، وتأثره بوجود ملح في الوسط الخارجي (من نتائج ملثورب وروبرتسون) .

إلا أن العلاقة ليست على أية حال خطية ، فقد وجد ستيوارد (Steward) — عام ١٩٣٣ — أن زيادة تركيز أيون البروميد إلى عشرة أمثال تركيزه الأصلي في المحلول الخارجي تسبب زيادة امتصاص أقراص درنات البطاطس لهذا الأيون إلى الضعف تقريباً . كذلك يؤثر الرقم الإيدروجيني للمحلول الخارجي في امتصاص وتراكم الأيونات . ويمكن القول عامة بأن امتصاص الكاتيونات يزداد من المحلول القلوي ، كما يزداد امتصاص الأنيونات من الوسط الحامضي ، فقد وجد هوجلاند ودافيس (Hoagland & Davis) — عام ١٩٢٣ — أن الطحاب نيتيلا يمتص النترات بدرجة قليلة من الوسط القلوي ويكاد يتوقف امتصاصه لها عند الرقم الإيدروجيني ٨,٥ ولكن — على النقيض من ذلك — وجد كثير من الباحثين أن امتصاص النوشادر يزداد من الوسط القلوي .

من كل ما تقدم يتضح أن امتصاص الأيونات وتراكمها عملية حيوية تتطلب طاقة أيضية ، أى أن الخلية الحية تستنفد جزءاً من طاقتها المتولدة أثناء التنفس فى امتصاص الأيونات ضد التدرج فى تركيزها ، ويطلق على هذا النوع من الامتصاص « الامتصاص النشط أو الأيضى Active or metabolic absorption) ، ومن المعتقد أنه يتم عن طريق وساطة مركب ناقل يكون موجوداً فى الغشاء البلازمى نفسه ومن شأنه أن يسرع من حركة الذائبات عبر الغشاء (إيبشتاين — Epstein — عامى ١٩٧٢ ، ١٩٧٤) .

العوامل التى تؤثر فى نفاذية البروتوبلازم للمواد :

١ — **درجة الحرارة :** تزداد نفاذية الخلايا النباتية بارتفاع درجة الحرارة فى المدى من صفر إلى ٥٠°م ، وهى الدرجة التى تفقد عندها الخلايا حيويتها تقريباً ، فإذا جاوزت درجة الحرارة ذلك المدى فقد البروتوبلازم حيويته ، ومن ثم يفقد تحكمه فى نفاذية المواد . وتكون الزيادة فى النفاذية عكسية — بمعنى أنها تعود إلى حالتها الطبيعية بزوال المؤثر — ما دامت درجة الحرارة دون الدرجة المميتة .

وأنسب الأنسجة لدراسة تأثير الحرارة فى النفاذية هى أنسجة جذور البنجر ، التى تحتوى خلاياها على صبغ الأنثوسيانين الأحمر ، ولا تسمح له بالنفاذ إلى خارجها فى الظروف العادية . فإذا سخنت أقراص من هذه الجذور فى قليل من الماء فإن الأخير يتلون باللون الأحمر تدريجياً ، وكلما اقتربت درجة الحرارة من الدرجة المميتة زاد تلون الماء تبعاً لزيادة نفاذية الأغشية البلازمية لصبغ الأنثوسيانين . فإذا ما جاوزت درجة الحرارة ٥٠° م تدفق الصبغ إلى الخارج ، واستمر فى تدفقه حتى بعد إعادة الأقراص إلى الماء العادى .

وتأثير الحرارة فى النفاذية كبير ، إذ تبلغ قيمة المعامل الحرارى من ٢ إلى ٣ وربما أكثر من ذلك . والطريقة التى تؤثر بها درجة الحرارة فى النفاذية غير معروفة على وجه التحديد ، فقد يكون هذا التأثير راجعاً — ولو جزئياً — إلى تغيرات فى طبيعة البروتوبلازم ، كانخفاض اللزوجة الذى يصحب

ارتفاع درجة الحرارة . كذلك يزداد النشاط الحركى للدقائق التى تمر خلال الأغشية البلازمية بارتفاع درجة الحرارة ، وهذا يؤدى إلى زيادة واضحة فى نفاذية الخلية .

وللدرجات الحرارة المنخفضة – التى تؤدى إلى تكوين الصقيع بالأنسجة النباتية – تأثير فى النفاذية يماثل درجات الحرارة المرتفعة ، أى أنها تسبب زيادتها زيادة غير عكسية . ولا يعزى هذا التأثير إلى تمزق الخلايا – نتيجة لتكوين الثلج – كما قد يتبادر إلى الذهن ، ولكن إلى تأثير الثلج فى إتلاف حالة البروتوبلازم الغروانية وفقده كل الخواص العادية ، وإذا تكون الثلج فى المسافات البينية فإنه يستخلص الماء من الخلايا ، ومن ثم يسبب جفاف البروتوبلازم وزيادة تركيز العصير الخلوى زيادة كبيرة .

٢ – الضوء : دلت الأبحاث المختلفة على أن الضوء يؤثر فى نفاذية الخلية النباتية ،فقد وجد ليبيشكين (Lepeschkin) أن نفاذية خلايا الوسادة الورقية فى القرنيات تزيد عند تعرضها للضوء وتقل فى الظلام ، وأن زيادة النفاذية يتبعها نقص فى حجم الخلايا ، أما انخفاض النفاذية فيسبب زيادة ضغط الامتلاء وزيادة حجم الخلايا .

وتتباين أشعة الطيف المختلفة فى تأثيرها فى النفاذية ، فالأشعة البنفسجية – وهى أقصر موجات الطيف المرئى طولا – هى أشد الأشعة تأثيراً فى النفاذية ، أما الأشعة الحمراء فأقلها .

٣ – المواد السامة : الإثير والكلوروفورم والكحول – وغيرها من المواد السامة – تقلل النفاذية بدرجة ملحوظة إذا وجدت فى بيئة النبات بتركيزات ضئيلة جداً ، ويكون تأثيرها فى هذه الحالة عكسياً . أما إذا وجدت بتركيزات عالية فإنها تسبب زيادة غير عكسية فى النفاذية يعقبها موت الخلايا . ويمكن أن يلاحظ هذا التأثير إذا علقت قطعة من جذر البنجر فى جو من بخار الكلوروفورم ، فبعد فترة قصيرة تشاهد قطرات العصير الخلوى وهى تتساقط من النسيج حاملة معها الصبغ الأحمر « الأنثوسيانين » ، ويعزى تأثير المواد السامة فى نفاذية الغشاء البلازمى إلى أن هذه المواد – بالإضافة إلى

فعلها كمذيبات لبعض أطوار السيتوبلازم – تعمل على خفض توتر السطح الفاصل بين السيتوبلازم والمحلول الخارجي المنغمسة فيه الخلية ، وقد يؤدى ذلك إلى إحداث تغيرات فى الأغشية البلازمية يكون من شأنها أن تفقد خواصها الفسيولوجية .

٤ – **المواد الذائبة فى بيئة النبات** : قام أسترهاوت (Osterhout) بأبحاث كثيرة لدراسة تأثير الأملاح المختلفة على النفاذية ، واستعمل فى تقديرها طريقة قياس التوصيل الكهربى لأنسجة طحلب اللاميناريا **(Laminaria)** . وهذه الأنسجة عندما تكون حية تبدى مقاومة كبيرة للتوصيل الكهربى تصل إلى ١١٠٠ أوم ، وتنخفض هذه المقاومة إلى ٢٢٠ أوم عندما تفقد حيويتها . وقد لاحظ أسترهاوب عندما وضع نسيجاً حيا من الطحلب فى محلول من كلوريد الصوديوم أن مقاومته انخفضت بسرعة ، ولكن عندما أعيد الطحلب إلى ماء البحر ارتفعت مقاومته مرة ثانية ، ما لم يكن قد مضى عليه فى محلول كلوريد الصوديوم مدة طويلة . كذلك الحال بالنسبة لبقية الأملاح ذات الكاتيونات أحادية التكافؤ مثل (بو +) و (لى +) ، وقد عزى أسترهاوت النقص فى مقاومة النسيج للتوصيل الكهربى إلى تأثير هذه الأملاح فى زيادة النفاذية . أما الأملاح ذات الكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل (كا++) و (ما++) و (ح + +) فقد تبين أنها تقلل نفاذية البروتوبلازم ، أى تزيد من مقاومة النسيج للتوصيل الكهربى ، ويلاحظ أن هذا التأثير وقتى إذ أن بقاء الطحلب فى محاليل هذه الأملاح مدة طويلة يؤدى إلى زيادة نفاذية الخلايا ثم إلى موتها كما هو الحال بالنسبة للأملاح ذات الكاتيونات أحادية التكافؤ . كذلك تؤثر الأملاح ذات الكاتيونات ثلاثية التكافؤ مثل (لو +++) و (ح +++) فى نفاذية الخلايا ، وتأثيرها يشبه تأثير الأملاح ذات الكاتيونات ثنائية التكافؤ ولكن بدرجة أشد .

أما بالنسبة لتأثير الأنيونات ، فقد دل البحث الذى أجرى لاختبار تأثير عدد من الأملاح – التى تحتوى على كاتيون مشترك وأنيونات مختلفة – فى نفاذية أنسجة نفس الطحلب على أن هذه الأملاح جميعها تسبب زيادة النفاذية ، وكلما كان تكافؤ الأنيون أكبر كان تأثيره أكثر وضوحاً .

التضاد

من المعروف أن محلول الملح الواحد له تأثير سام فى خلايا النبات بغض النظر عما يكون للعناصر المكونة له من أهمية فى حياة النبات . فالنباتات البحرية تفقد حيويتها فى محلول من كلوريد الصوديوم له نفس تركيز ماء البحر أسرع مما تفقدها وهى فى ماء مقطر . هذا التأثير السام لمحلول كلوريد الصوديوم يخف بإضافة كمية قليلة جداً من ملح آخر مثل كلوريد الكالسيوم ، ويكاد يتلاشى إذا أضيفت إلى المحلول كمية صغيرة من ملح آخر مثل كلوريد البوتاسيوم . وهذه الأملاح — ذات التأثير السام حين يوجد كل منها فى المحلول على انفراد — تعمل على إبطال التأثير السام لبعضها البعض إذا وجدت مجتمعة فى الوسط الخارجى للنبات . وتعرف ظاهرة تبادل إبطال التأثير السام بين الأملاح « بالتضاد » (Antagonism) ، أما المحلول الذى يحتوى على أملاح عديدة بنسب خاصة بحيث لا يكون لها تأثير سام فيعرف بالمحلول المتوازن (Balanced solution) ، ومن أمثلته ماء البحر ومحلول التربة .

ويكون التضاد أكثر وضوحاً بين الأملاح التى تختلف تكافؤ كاتيوناتها ، فعلى سبيل المثال يوجد تضاد بين كاتيونات هذه الأملاح : ص كل ، سر كل$_2$ — بو ن ا$_3$ ؛ كا (ن ا$_3$)$_2$ — ص كل ، ما (ن ا$_3$)$_2$ — ص كل ، كا كل$_2$.

ولتوضيح التضاد عملياً نضع أقراصاً من جذور البنجر فى ماء مقطر وفى محلول مخفف من كلوريد الصوديوم ، فنلاحظ أن المادة الملونة قد تسربت إلى الخارج فى الحالة الثانية فقط ، وذلك لزيادة نفاذية الغشاء البلازمى فى وجود أيون الصوديوم . فإذا نقلت الأقراص التى أخرجت المادة الملونة إلى محلول مماثل من كلوريد الصوديوم به كمية قليلة جداً من كلوريد الكالسيوم فإن خروج المادة الملونة يقل ثم يقف ، وذلك لأن أيون الكالسيوم أبطل الزيادة فى نفاذية الغشاء البلازمى الناتجة عن أيون الصوديوم .

وتعزى ظاهرة تضاد الأملاح إلى أن كلا من الملحين يحول دون دخول الآخر فى الخلية النباتية ، ولكن هذا التفسير قد صادفته اعتراضات كثيرة أهمها أنه فى بعض حالات التضاد قد تدخل أيونات الملح الواحد إلى الخلية من محلول الملحين أكثر من دخولها حينما يكون هذا الملح موجوداً على انفراد فمثلا – فى حالة التضاد بين ص كل ، كا كل٢ – بينما تهلك الخلايا فى محلول من كلوريد الصوديوم (٠,٠١ جزيئى) نجد أنه فى وجود كلوريد الكالسيوم قد يتراكم أيون الصوديوم فى الخلايا إلى عشرة أمثال هذا التركيز دون أن ينتج عنه تأثير سام . ولذلك عزى التضاد إلى التأثير المضاد للأيونات فى البروتوبلازم ، فبينما تقلل الكاتيونات أحادية التكافؤ من القوى التى تربط بين الجزيئات المكونة للغشاء البلازمى وتسبب تفككها نجد أن الكاتيونات ثنائية التكافؤ تعمل فى عكس هذا الاتجاه ، ومن الواضح أن كلا الاتجاهين ضار بالخلية ، ولذلك يكون المحلول الذى يحتوى على الملحين أقل ضرراً من أى من الملحين فى المحلول على انفراد .

الباب الثانى والثلاثون

العلاقات المائية للنبات

يحتاج النبات إلى قدر وافر من الماء ، نظراً لما له من أهمية قصوى فى حياته ، فهو - بالإضافة إلى كونه أحد مركبات البروتوبلازم الأساسية - لازم لمختلف أنواع النشاط الحيوى فى الخلية ، فمعظم العمليات الكيميائية التى تحدث بالخلية تتطلب وجود الماء كشرط أساسى لإتمامها .

ويحصل النبات الراقى على حاجته من الماء من التربة بوساطة جذوره المتشعبة فيها ، غير أن النبات لا يحتفظ بكل ما يحصل عليه من الماء ، ولكنه يفقد الجزء الأكبر منه عن طريق الأوراق فى عملية النتح ، ويصعد الماء الممتص من الجذر إلى الأوراق خلال الساق وفروعها الجانبية . وعلى ذلك يمكن تلخيص حركة الماء فى النبات فى الموضوعات الثلاثة الآتية :

١ - امتصاص الماء (Water absorption)

٢ - صعود العصارة (Ascent of sap)

٣ - النتح (Transpiration)

وسنتناول كلا من هذه الموضوعات بشئ من التفصيل .

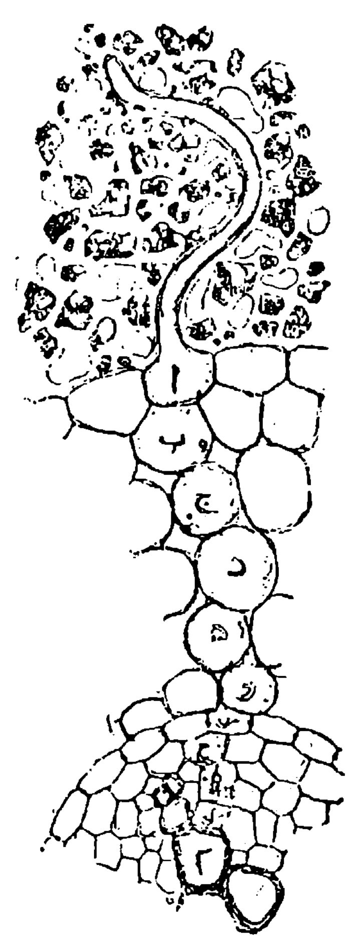
امتصاص الماء

لا توجد فى الرتب الأولى من النباتات الدنيئة - كالطحالب والفطريات - أعضاء خاصة بامتصاص الماء ، فهى تحصل على حاجتها بوساطة بعض أو كل خلاياها وذلك لأنها مغمورة عادة فى وسط مائى . وفى الحزازيات المنبطحة والقائمة تظهر أعضاء تعرف بأشباه الجذور (Rhizoids) تقوم بدور جزئى فى امتصاص الماء والأملاح المعدنية . أما معظم النباتات الراقية فتتميز بوجود أعضاء خاصة بالامتصاص هى الجذور والشعيرات الجذرية . والأخيرة

تراكيب رقيقة وحيدة الخلية ، تتفاوت فى طولها من ١ إلى ٨ ملليمترات . وهى امتدادات لخلايا البشرة ، تمكث حية من بضعة أيام إلى عدة شهور ، وحين تموت تذبل وتسقط وتتكون عوضاً عنها شعيرات جديدة فى أعلى منطقة الاستطالة ، ولذلك تبقى منطقة الشعيرات الجذرية ثابتة الطول تقريباً . ويتراوح طولها عادة بين ١ ، ٥ سنتيمترات وقد تصل إلى العشرة سنتيمترات أحياناً ، ويتوقف ذلك على نوع النبات ودرجة نمو جذوره . وتؤثر رطوبة التربة وتهويتها فى عدد ومدى نمو الشعيرات الجذرية ، فتكثر هذه الشعيرات فى التربة معتدلة الرطوبة جيدة التهوية بينما تقل فى التربة المشبعة بالماء تقريباً أو رديئة التهوية .

ومعظم الماء والأملاح المعدنية التى يحصل عليها النبات من التربة تمتص بوساطة الشعيرات الجذرية ، وفى بعض أنواع الجذور تشترك خلايا البشرة إذا كان تكوتنها أو تسوبرها قليلا أو معدوما — فى عملية الامتصاص . وعلى الرغم من صغر المساحة التى تشغلها منطقة الامتصاص من الجذر إلا أن وجود الشعيرات الجذرية بهذه المنطقة يضاعف إلى حد كبير سطح الامتصاص ، كما أن هذه الشعيرات بتغلغلها بين حبيبات التربة تعرض سطح الامتصاص لأكبر حجم ممكن من الوسط الخارجى (شكل ٣٤٤) .

(شكل ٣٤٤)

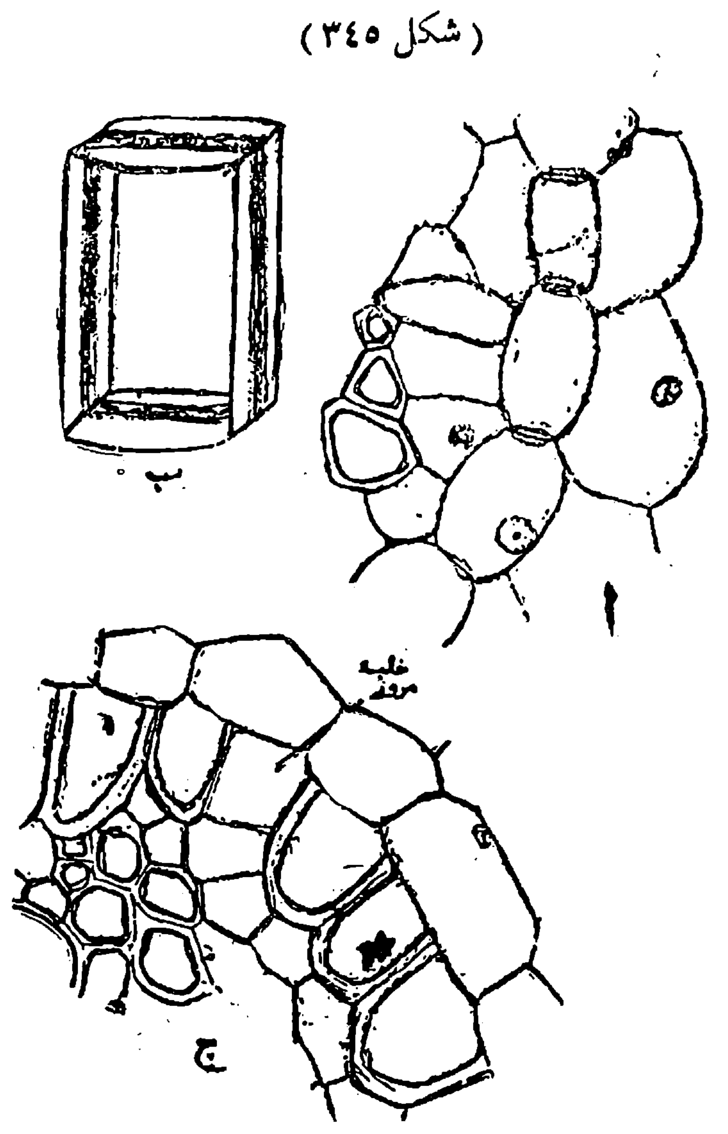


قطاع مستعرض يوضح الاتصال بين الشعيرة الجذرية (ا) وحبيبات التربة كما يبين الخلايا (ب ـ م) التى ينتقل خلالها الماء حتى يصل الى أوعية الجذر الخشبية

والشعيرة الجذرية ذات جدار سليلوزى رقيق تبطنه من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم متصلة بسيتوبلازم خلية البشرة التى تكونت منها الشعيرة وتغلف طبقة السيتوبلازم فجوة عصارية كبيرة ممتلئة بعصير خلوى ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى لمحلول التربة .

ويسلك الماء الداخل إلى الجذر — بعد اختراقه لجدر الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة القريبة من القمة — عدة طبقات متعاقبة من خلايا القشرة رقيقة

(شكل ٣٤٥)



تركيب الإندودرمس فى الجذر : (أ) جزء من الاسطوانة الإندودرمية فى حداثتها ، يوضح أشرطة كاسبار على الجدر القطرية كما تبدو فى قطاع مستعرض ، (ب) رسم تخطيطى لخلية واحدة يوضح موضع الشريط ، (ج) جزء من الاسطوانة الإندودرمية فى مرحلة متأخرة يلاحظ فيه وجود خلايا رقيقة الجدر مقابل الخشب الأول تعرف بخلايا المرور .

الجذر ، بعد ذلك يمر الماء خلال طبقة الإندودرمس وتتميز جدرها بتركيب فريد فى نوعه ، إذ يبطن جدرها القطرية شريط من مادة تشبه السوبرين يأخذ شكل حزام (شكل ٣٤٥ : ب) — يعرف بشريط كاسبار (Casparian strip) ، أما جدرها المحيطية فتبقى دون تغلظ ، لذلك لا يمكن أن يكون مرور الماء من القشرة إلى الأوعية الخشبية خلال الجدر القطرية لخلايا الإندودرمس ، بل يقتصر ذلك على جدرها الخارجية والداخلية غير المغلظة ، هذا إذا كان الجذر حديث السن ، أما فى الجذور المسنة فيمتد التغلظ إلى الجدر المحيطية الداخلية (شكل ٣٤٥ : ج) وأحيانا إلى الجدر الخارجية أيضاً ، وبذا يقفل الطريق فى وجه الماء إلا من بعض خلايا تبقى دون تغلظ وتعرف بخلايا المرور (Passage cells) كما هو مبين فى شكل (٣٤٥ : ج) ، وينتقل الماء بعد مروره خلال خلايا الإندودرمس إلى القنوات الخشبية . وذلك بعد اختراقه لخلايا البريسيكل رقيقة الجدر .

آلية امتصاص الماء :

١ — التشرب :

يدخل الجذر قدر ضئيل نسبياً من الماء بخاصة التشرب . فالشعيرات الجذرية وخلايا البشرة فى منطقة الامتصاص تتشرب جدرها الماء من التربة حتى تتشبع به ، وبما أن الماء ينتقل من جدار خلوى مشبع إلى جدار ملاصق له أقل منه تشبعاً فإن ماء التشرب ينتقل من جدر الشعيرات الجذرية المشبعة إلى جدر خلايا القشرة الملاصقة لها ، ثم يستمر انتقال ماء التشرب خلال جدر خلايا القشرة المتتابعة نتيجة للنقص التدريجى فى درجة التشبع . وعندما يصل ماء التشرب إلى طبقة البشرة الداخلية (الإندودرمس) يتعذر مروره خلالها نظراً لوجود مادة السوبرين غير المنفذة فى جدر خلاياها ، وعلى ذلك يتجه ماء التشرب إلى أعلى فى الساق والأوراق حيث تعانى جدر الخلايا نقصاً فى درجة تشبعها نظراً لما تفقده من ماء فى عملية النتح .

٢ — الامتصاص المباشر للماء (Active water absorption) :

ينتقل الماء من التربة إلى الشعيرة الجذرية بآلية أزموزية بسيطة ، وذلك حينما تكون قوة الامتصاص الأزموزية للشعيرة الجذرية أعلى من الضغط الأزموزى لمحلول التربة . وقد ثبت أنه بينما يقل الضغط الأزموزى لمحلول التربة عن ضغط جوى واحد فإن الضغط الأزموزى لخلايا البشرة والشعيرات الجذرية يبلغ حوالى ٣—٥ ضغوط جوية أو أكثر . ومع أن قوة الامتصاص الأزموزية للشعيرة الجذرية تقل عن ضغطها الأزموزى نظراً لضغط الجدار إلا أن قيمتها تظل أعلى من الضغط الأزموزى لمحلول التربة ، وعلى ذلك ينتقل الماء من التربة إلى داخل الشعيرة الجذرية (ا) — شكل ٣٤٤ — فتزداد درجة امتلائها وتنخفض بذلك قوة امتصاصها الأزموزية عن قوة امتصاص خلية القشرة (ب) الملاصقة لها ، ويترتب على ذلك انتقال الماء إلى الخلية (ب) التى يزداد عندئذ امتلاؤها وتنخفض قوة امتصاصها الأزموزية عن قوة امتصاص الخلية (ج) وهى ثانى طبقات القشرة ، ويتبع ذلك انتقال الماء إلى الخلية الأخيرة . وهكذا يستمر انتقال الماء خلال طبقات القشرة وطبقتى الإندودرمس والبريسيكل حتى يصل فى النهاية إلى أوعية الجذر الخشبية .

وانتقال الماء بالطريقة السابقة يتبعه أن تصبح الخلايا الحية فى الطريق الذى يسلكه الماء ممتلئة امتلاء تاماً . ولما كانت خلايا القشرة فى هذه الحالة تصبح غير قادرة على امتصاص الماء ما لم تفقد بعض مائها فقد أعتبر أتكنز (Atkins) أن الخلايا الحية خارج الأسطوانة الوعائية فى الجذر بمثابة غشاء بلازمى واحد على جانبه الخارجى محلول التربة وعلى جانبه الآخر أوعية الجذر الخشبية ، وينتقل الماء من التربة إلى الأوعية الخشبية بالفرق بين الضغط الأزموزى للمحلولين على جانبى الغشاء ، تماماً كما ينتقل الماء إلى المحلول السكرى فى جهاز أزمومترى . وقد وجد أتكنز أن الضغط الأزموزى للعصارة الخشبية أعلى منه لمحلول التربة . وعلى الرغم من أن الضغط الأزموزى لخلايا القشرة أكثر ارتفاعاً ، إلا أن ذلك لا يؤثر فى الامتصاص ، إذ أن القدرة على

امتصاص الماء لا يعتمد على الضغط الأزموزى نفسه ، بل على قوة الامتصاص الأزموزية التى تنقص عنه بمقدار ضغط الامتلاء . ومما لا شك فيه أن قيمة هذا الضغط الأخير كبيرة وتزداد بامتصاص الماء . ونظراً لما يتبع استمرار امتصاص الماء من خفض تركيز العصارة فى الأوعية الخشبية فإنه لا بد لها من إمدادات متصلة من المواد الذائبة ،كالسكر والأحماض العضوية ،تأتيها من الخلايا البارنشيمية المحيطة بها خلال جدرانها المنفذة الملاصقة للأوعية الخشبية.

وقد اعتبر بريستلى (Priestley) أن التركيب الخاص لطبقة الإندودرمس الذى سبق ذكره (شكل ٣٤٥) لازم لبقاء تركيز العصارة فى أوعية الخشب عالياً . فوجود شريط من مادة السوبربن غير المنفذة على الجدر القطرية لخلايا هذه الطبقة يجعل منها أسطوانة محكمة تحول دون تسرب الذائبات من بارنشيمة الخشب إلى الخارج ، وفى نفس الوقت تحدد مرور الماء الممتص والأملاح الذائبة فيه من القشرة إلى الأوعية الخشبية خلال بروتوبلازم خلايا الإندودرمس وذلك لاقتصار النفاذية على جدرها المحيطية وحدها .

ويندفع الماء الممتص إلى داخل أوعية الجذر الخشبية بقوة دافعة تنشأ عن الفرق بين ضغطى محلول التربة والعصارة الخشبية ، ويطلق عليها « الضغط الجذرى » (Root pressure) . وتعزى إلى هذا الضغط بعض الظواهر ، فإذا قطع نبات بالقرب من سطح التربة شوهد الماء المدفوع فى الأوعية الخشبية وهو يتجمع على السطح المقطوع ثم لا يلبث أن يتساقط ، وتسمى هذه الظاهرة « إدماء » (Bleeding) . وثمة ظاهرة أخرى هى خروج قطرات الماء من ثغور عند أطراف العروق فى أوراق النباتات الكاملة وتعرف هذه الظاهرة « بالإدماع » (Guttation) . وسنعود إلى التحدث عن الضغط الجذرى بالتفصيل عند دراسة صعود العصارة .

٣ — الامتصاص غير المباشر (السلبى) للماء :

(Passive water absorption)

وهناك قوة أخرى يدخل الماء بوساطتها إلى الجذور ، وهى قوة الشد

الناتجة عن النتح . فعندما تفقد خلايا النسيج الوسطى فى الورقة بعض مائها فى عملية النتح ترتفع قوة امتصاصها الأزموزية وتسحب الماء من الخلايا المجاورة لها ، وهذه بدورها ترتفع قوة امتصاصها الأزموزية ومن ثم تسحب الماء مما جاورها من الخلايا ، وهكذا إلى أن يصل السحب إلى الأوعية الخشبية بالورقة ، وعلى ذلك يتعرض الماء فى هذه الأوعية إلى شد من أعلى . ولما كان الماء فى الأوعية الخشبية يكون عموداً متصلا من الجذر إلى الورقة فإن قوى الشد تنتقل إلى أسفل خلال عمود الماء كله . وعندما تصل هذه القوة إلى عمود الماء فى القنوات الخشبية فى منطقة الامتصاص يبدأ الماء فى الانتقال إلى هذه القنوات من الخلايا الحية الملاصقة لها ؛ فتزداد قوة الامتصاص الأزموزية للخلايا الأخيرة ، وينتقل إليها الماء بدورها من التربة . وعملية الامتصاص هذه لاتعدو أن تكون آلية أزموزية . ولكن نظراً لأن القوة الداعية إليها تنشأ فى الورقة وليست فى الجذر فقد أطلق عليها الامتصاص غير المباشر أو السلبي وذلك تمييزاً لها عن النوع السابق من الامتصاص الذى يطلق عليه « الامتصاص المباشر أو الإيجابى » نظراً لنشأة آليته فى الجذر فحسب .

ومعظم الماء الذى يمتصه النبات يدخل إلى الجذر بالآلية الأخيرة ، ذات القدرة الكبيرة على إنقاص المحتوى المائى التربة ، فهى قادرة على أن تنتزع الماء من التربة إلى أن تقترب نسبته فيها من النسبة المئوية للذبول الدائم (فى هذه الحالة يكون الضغط الأزموزى لمحلول التربة مساوياً ١٥ ضغطاً جوياً تقريباً) ، أما الامتصاص المباشر فلا يستطيع انتزاع الماء إذا ما تعدى الضغط الأزموزى لمحلول التربة ضغطين جويين .

وسيأتى ذكر الأدلة المؤيدة لوجود الامتصاص غير المباشر عند الحديث عن نظرية التماسك فى صعود العصارة .

العوامل التى تؤثر فى امتصاص الجذر للماء :

تتأثر قدرة الجذر على امتصاص الماء بالعوامل الأربعة الآتية :

١ - تركيز محلول التربة .   ٢ - المحتوى المائى للتربة .

٣ - درجة حرارة التربة .   ٤ - تهوية التربة .

وسنتحدث بالتفصيل عن كل عامل من هذه العوامل الأربعة .

١ - تركيز محلول التربة : ينخفض معدل امتصاص الماء كلما زاد الضغط الأزموزى لمحلول التربة ، ويقف الامتصاص تماماً عندما يعادل هذا الضغط قوة امتصاص الخلايا الجذرية للماء . وتعتبر التربة فى هذه الحالة جافة - من الوجهة الفسيولوجية - رغم تشبعها بالماء .

وتستطيع النباتات - فى حدود معينة - أن تساير الزيادة فى تركيز محلول التربة ، وذلك بزيادة الضغط الأزموزى لخلاياها ، ومن ثم فإن الانخفاض فى معدل الامتصاص- الذى يحدث عندما توضع جذور نبات فى محلول ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى لمحلول التربة التى كان ينمو بها - يمكن أن يزول بعد فترة من الوقت ويعود الامتصاص إلى معدله الأصلى .

وتنفرد النباتات الملحية بقدرتها على أن تعيش فى تربة درجة تركيز الأملاح بها عالية ، أى لها ضغط أزموزى مرتفع ، ومن أمثلة هذه النباتات الحريزة (Salicornia) ، والسويدة (Suaeda) وغيرهما ، وهى تعيش فى المستنقعات الملحية وعلى مقربة من شواطئ البحار ، وتلك بيئات خاصة بها ولا تستطيع معظم النباتات الأخرى أن تعيش فيها .

وتعزى مقدرة النباتات على مسايرة الزيادة فى الضغط الأزموزى لمحلول التربة إلى تسرب بعض الأملاح الذائبة إلى خلايا الجذر ، وهذا من شأنه أن يرفع من تركيز العصير الخلوى ، وبالتالى من قدرة الخلايا على الامتصاص . وبالإضافة إلى ذلك قد تتحلل بعض المركبات العضوية المعقدة التى يدخرها النبات عادة فى الجذر - كالنشا - إلى مركبات أقل تعقيداً كالسكر ، وهذا بدوره يزيد من تركيز العصارة الخلوية .

٢ — المحتوى المائى للتربة: تعتبر التربة بالنسبة للنبات مخزناً للماء ، ويكون هذا المخزن ممتلئاً عندما تحتوى التربة كمية من الرطوبة تمثل ما يبقى بها — عند ريها أو عند سقوط مطر غزير عليها — بعد تسرب الماء الزائد إلى أسفل بتأثير الجاذبية الأرضية ، ويقال للتربة فى هذه الحالة إنها فى تمام السعة الحقلية (Field capacity) ، وتعتبر خالية من الماء عندما لا يكون بها من الماء الميسور ما يكفى لمنع النبات من الذبول ، ويطلق على النسبة المئوية للمحتوى المائى فى هذه الحالة « معامل الذبول » (Wilting coefficient) أو « النسبة المئوية للذبول الدائم» (Permanent wilting percentage). وتتفاوت أنواع التربة المختلفة تفاوتاً كبيراً بالنسبة لكمية الماء التى تحتويها عند هذين الحدين ، وعلى ذلك فهى تختلف بالنسبة لما تحتويه من ماء صالح لاستغلال النبات ، ويبدو أن امتصاص الماء يسير بمعدل واحد تقريباً فى كل المحتويات المائية الواقعة بين هذين الحدين ، وخاصة فى أنواع التربة الخفيفة ومتوسطة القوام . ويمكن تعيين السعة الحقلية للتربة بإضافة كمية زائدة من الماء ، ثم الانتظار حتى يتم تسرب الماء الزائد إلى أسفل بالجاذبية الأرضية .

ولتقدير النسبة المئوية للذبول الدائم تحسب كمية الماء المتبقية فى التربة بعد استنفاد النبات النامى بها لكل الماء الميسور ، ويمكن تمييز ذلك عندما يبدأ النبات فى الذبول الدائم ، أى عندما لا يمكن أن يستعيد حالته الطبيعية إلا بإضافة ماء جديد للتربة . والمفروض أن هذه القيمة تمثل كمية الماء غير الميسور فى التربة ، وهى تختلف كثيراً حسب نوع التربة ، ولكنها لا تكاد تختلف بالنسبة لنوع النبات المستعمل فى الاختبار .

ولقد عين ساكس (Sachs) كمية الماء غير الميسور فى ثلاثة أنواع مختلفة من التربة ، وذلك بزراعة نباتات التبغ بها ، وعندما بلغت هذه النباتات حجماً مناسباً أوقف الرى ، وفى الوقت الذى بدأت فيه النباتات فى الذبول أخذ عينات من أنواع التربة المختلفة وجففها عند درجة ١٠٥° م ، ويوضح جدول (٢١) النتائج التى حصل عليها .

جدول (٢١)

معامل الذبول لثلاثة أنواع مختلفة من التربة ، وذلك بالنسبة لنبات التبغ

نوع التربة	السعة المائية القصوى (نسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة)	معامل الذبول (نسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة)
رملية	٢٠٫٨	١,٥
طينية	٥٢	٨
دبالية	٤٦	١٢,٢

يتضح من هذا الجدول أنه كلما صغر حجم الحبيبات المكونة للتربة زادت قدرتها على الاحتفاظ بالماء ، كما أن وجود المواد العضوية مختلطة مع هذه الحبيبات تزيد من هذه القدرة . ويجب لتفسير ذلك أن نذكر القوى المختلفة التي تحتفظ بوساطتها حبيبات التربة بالماء .

(ا) الخاصة الشعرية ، ويطلق على الماء المحتفظ به بهذه الخاصة اسم « الماء الشعرى » (Capillary water) ، وهو يوجد فى صورة أغشية حول حبيبات التربة وفى المسافات التى تتخللها .

(ب) خاصة التجمع السطحى للحبيبات دقيقة الحجم .

(ج) خاصة التشرب للدقائق الغروانية العضوية المكونة للدبال .

ويطلق على الماء المحتفظ به بهاتين الخاصتين الأخيرتين « الماء الإيجروسكوبى » (Hygroscopic water) ، وهو يوجد فى صورة أغشية رقيقة جداً على سطح الحبيبات .

وقوة احتفاظ التربة الرملية بالماء تكاد تكون مقصورة على الخاصة الشعرية وحدها ، وذلك لأن حبيبات تلك التربة كبيرة لا يمكنها اجتذاب الماء على سطوحها بخاصة التجمع السطحى ، كما لا يمكنها أن تتشرب الماء لأن حجمها يفوق حجم دقائق المواد الغروانية .

ولما كانت قوة الاحتفاظ بالماء بالخاصة الشعرية ليست كبيرة فإن النبات يمكنه أن يمتص الجزء الأكبر من هذا الماء . أى أن التربة الرملية أكثر أنواع التربة سخاء بمائها بالرغم من أن ما تحمله من الماء عند تشبعها قليل إذا قورن بأنواع التربة الأخرى . أما التربة الطينية فأقل سخاء من التربة الرملية إذ تحتفظ بنسبة أكبر من مائها لا تجود بها على النبات ، ويعزى ذلك إلى كونها تحتفظ بالماء بقوتين : الأولى قوة التجمع السطحى وهى من الكبر بحيث لا يستطيع النبات التغلب عليها ، والثانية القوة الشعرية ، وماؤها هو الذى يمكن للنبات أن يستغله فى هذا النوع من التربة . أما التربة الدبالية الغنية بالمواد العضوية ذات الطبيعة الغروانية فتمتاز — علاوة على ما لها من خواص التربة الطينية — بقدرة حبيباتها الغروانية على تشرب الماء والاستمساك به ، فهى لذلك أكثر أنواع التربة قدرة على الاستمساك بالماء ، أى أن النباتات النامية فيها تذبل وتموت وما زالت بها نسبة كبيرة من الماء .

نستخلص مما سبق أن الماء الشعرى يمثل الماء السائغ — أى الميسور — أما الإيجروسكوبى (وهو الذى يكون أغشية رقيقة حول الحبيبات) فيمثل الماء الذى لا يستطيع النبات امتصاصه ، أى الماء غير الميسور ، وهو الذى تفوق قوة استمساك التربة به الضغط الامتصاصى للجذر ، ومن الجدير بالذكر أنه عندما ينفذ الماء الميسور من التربة لا يتوقف امتصاص النبات للماء تماماً ، بل يصبح من البطء بحيث تصعب معه المحافظة على امتلاء خلايا الأوراق .

ومن الملاحظ أن زيادة المحتوى المائى عن النسبة اللازمة لتشبع التربة يؤدى إلى خفض معدل الامتصاص ، نظراً لما يصحب ذلك من نقص فى تهوية التربة .

٣ — درجة حرارة التربة : تؤثر درجة حرارة التربة تأثيراً بالغاً فى معدل امتصاص الجذر للماء ، فرى النباتات بالماء البارد يؤدى غالباً إلى ذبولها ، ويكون هذا التأثير أكثر وضوحاً إذا كانت النباتات المستخدمة من النوع المستوطن للمناطق الدافئة . فمثلا وجد كرامر (Kramer) — عام ١٩٤٢ — أن

نباتات البطيخ والقطن - وهى من محاصيل البلاد الحارة - تمتص عند درجة ١٠° م ٢٠٪ مما تمتصه عند درجة ٢٥° م ، أما فى محاصيل الفصول الباردة فتصل هذه النسبة إلى ٨٥٪ فقط. فإذا صاحب هذا النقص فى معدل الامتصاص ارتفاع فى درجة حرارة الجو وشدة إضاءة عالية ورطوبة نسبية منخفضة - وهى العوامل التى تساعد على زيادة النتح - فإن النباتات تذبل ذبولا شديداً ، وذلك لزيادة كمية الماء المفقود عن طريق النتح من الأوراق على كميته الممتصة من التربة . ولعل هذا يفسر ظاهرة تساقط الأوراق فى بعض نباتات المناطق المعتدلة فى فصلى الخريف والشتاء . حيث تؤدى برودة التربة إلى إضعاف امتصاص الماء منها ، وعدم تكافؤ كمية الماء الممتص مع كميته المفقودة عن طريق النتح تحت تأثير أشعة الشمس أثناء النهار ، فينخفض المحتوى المائى لأنسجة النبات بدرجة كبيرة ، ومن ثم يلجأ النبات إلى التخلص من أوراقه كوسيلة لتقليل السطح الناتح حتى يمكنه أن يوازن بين الفقد والامتصاص .

ويعزى هبوط معدل امتصاص الماء فى درجات الحرارة المنخفضة إلى زيادة لزوجته مما يؤدى إلى نقص طاقته الحركية فى التربة والنبات على السواء . كذلك تسبب درجات الحرارة المنخفضة زيادة لزوجة البروتوبلازم فيقل بذلك معدل إنفاذه للماء .

وقد ترتفع درجة حرارة التربة إلى الحد الذى يسبب نقص معدل امتصاص الماء . فمثلا يقل امتصاص نباتات الليمون والبرتقال للماء عندما ترتفع درجة حرارة التربة عن ٣٠° أو ٣٥° م .

٤ - تهوية التربة : تعتبر التهوية الكافية ضرورية لعملية امتصاص الجذر للماء ، ويمكن القول عموماً أن الامتصاص فى التربة جيدة التهوية يكون أسرع بكثير منه فى التربة رديئة التهوية ، ولذلك فعندما تكون التربة شديدة التماسك ، أو مغمورة بالماء ، أو مستبدل بالهواء حول الجذور النامية فيها جو من ثانى أكسيد الكربون أو النيتروجين ، فإن النباتات تذبل وتموت نظراً لتوقف عملية الامتصاص توقفاً يكاد يكون تاماً . فمثلا وجد كرامر (Kramer)-

عام ١٩٤٠ - أن نباتات عباد الشمس والطماطم تذبل بعد نصف ساعة من إمرار تيار من ثانى أكسيد الكربون فى الماء أو التربة التى تنمو فيها جذورها. ويعزى انخفاض معدل الامتصاص فى هذه الحالة إلى نقص نفاذية الخلايا للماء فى وجود ثانى أكسيد الكربون.

وتشبع التربة بالماء هو العامل الذى يؤدى عادة إلى نقص تهوية التربة. ويكون هبوط معدل امتصاص الماء فى مثل هذه الظروف راجعاً إلى النقص الشديد فى تركيز الأكسيجين أكثر منه إلى الزيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون. وذلك لأن نقص الأكسيجين بدرجة كبيرة يسبب انخفاض معدل تنفس الخلايا الجذرية، وهذا بدوره يؤثر على سائر عمليات التحول الغذائى كما يؤثر على نمو الجذور، ويترتب على هذا الاختلال فى العمليات الفسيولوجية انخفاض معدل امتصاص الماء. نستخلص مما سبق أن ما يضر بالنباتات فى الأراضى المغمورة ليس ازدياد كمية الماء ولكن نقص كمية الهواء حول المجموع الجذرى، والدليل على ذلك أن النباتات تنمو نمواً كاملا فى المزارع المائية متى دفع فيها تيار من الهواء من حين لآخر.

غير أن هناك أنواعاً من النباتات يمكنها أن تنمو وأن تمتص جذورها الماء من الأراضى المغمورة به، فبعض النباتات المائية مزودة بجهاز من المسافات البينية الواسعة متصل فى الأوراق والسيقان والجذور، وتستمد الجذور مايلزمها من الأكسيجين مما يوجد منه فى هذه القنوات الهوائية. وهناك أيضاً بعض نباتات تستطيع أن تعيش فى الأراضى المشبعة بالماء دون أن يكون لها جهاز داخلى للتهوية، وتستطيع مثل هذه النباتات القيام بسائر عمليات التحول الغذائى عند تركيزات منخفضة من الأكسيجين.

صعود العصارة فى الساق

يسلك الماء الممتص - بوساطة المجموع الجذرى - طريقه إلى الساق فالأوراق خلال الأوعية الخشبية التى تكون جهازاً متصلا داخل النبات.

وينتقل الماء - أو على وجه الدقة المحلول المخفف من الأملاح المعدنية والمواد العضوية - ككتلة متماسكة ، وعندما يصل إلى القنوات الخشبية فى الورقة يتسرب إلى خلايا النسيج الوسطى حيث يفقد معظمه فى عملية النتح . ويسمى تيار الماء الصاعد فى عناصر التوصيل الخشبية - بما به من أملاح ذائبة - تيار العصارة (Sap stream) ، ويطلق عليه أيضاً اسم تيار النتح (Transpiration stream) نظراً لأن معظم الماء المنتقل يحل محل ما فقد فى عملية النتح ، على أن جزءاً يسيراً جداً من تيار العصارة يتسرب - على طول الطريق الذى يسلكه - إلى الخلايا الحية المجاورة كى يستخدم فى سائر العمليات الحيوية.

وسلوك تيار العصارة طريق الخشب قد تبين منذ الوقت الذى بدأت فيه تجارب التحليق (مالبيجى عام ١٦٧١) ، فعندما أزيلت الأنسجة الساقية التى حول الخشب لم تتوقف حركة الماء إلى الأعضاء المتصلة بالساق فوق منطقة الحلقة ، وعلى العكس عندما قطع الخشب فى الساق ظهرت حالة الذبول بسرعة على الأوراق المتصلة بالساق فوق منطقة الحلقة ، وثمة تجربة أخرى يمكن بوساطتها التدليل على أن الخشب هو الطريق الأساسى لصعود العصارة ، فإذا غمس الطرف السفلى لساق نبات مورق حديث القطع فى محلول مائى لأحد الأصباغ كالإيوسين ، لوحظ بعد مدة وجود اللون الأحمر داخل عروق الأوراق . فإذا عملت قطاعات فى الساق أو الأوراق شوهد ذلك اللون مقصوراً على الأوعية الخشبية .

وقد أوضح العالم الأيرلندى « ديكسون » (Dixon) أن الماء يرتفع فى تجاويف الأوعية الخشبية وكذلك عن طريق جدرها بخاصة التشرب ، إلا أن الماء المنتقل بالوسيلة الثانية يكون نسبة ضئيلة جداً من العصارة الصاعدة ، فعندما غمست الأطراف المقطوعة لمجموعة من فروع نبات الزيزفون فى محلول جيلاتينى سائل ، ولمجموعة مماثلة من فروع نفس النبات فى شمع منصهر ، ثم غمست المجموعتان فى الماء مع مجموعة ثالثة لم تعامل ، لوحظ بعد مدة أن فروع النباتات التى لم تعامل بقيت طبيعية لم تعترها حالة الذبول ،

أما تلك التى عوملت فقد ذبلت أوراقها ، إلا أن الذبول كان شديداً فى حالة المجموعة التى سدت أوعيتها الخشبية بالشمع ، وذلك لأن الشمع قد حال دون صعود العصارة بكلا الطريقين ، وفى حالة المجموعة المعاملة بالجيلاتين كان الذبول أقل حدة ، وذلك لأن الجيلاتين لم يمنع الماء الصاعد بالتشرب ، وإن كانت كميته من الضآلة بحيث لا تفى بحاجة الأوراق .

القوى التى تعمل على رفع العصارة :

يدل صعود المحلول المائى الملون فى التجربة التى سبق ذكرها على أن القوى الناشئة عن تبخر الماء فى الأوراق فى عملية النتح كافية لرفع العصارة خلال الخشب فى النباتات قصيرة السيقان . ولكن الامر ليس مقصوراً على مثل هذه النباتات بل يتعداها إلى تلك التى تبلغ ارتفاعاً كبيراً يصل إلى ١٠٠ متر ، وعلى ذلك فآلية انتقال الماء ليست على هذه الدرجة من البساطة . وقد وضعت نظريات كثيرة لتفسير الآلية التى تصعد بها العصارة الخشبية ، ومن المحتمل أن تتضمن العملية أكثر من آلية واحدة ، وفيما يلى دراسة تفصيلية لعدد من الآليات التى تعمل على رفع العصارة :

١ — **النظرية الحيوية** : على الرغم من أن الأوعية والقصيبات التى ينتقل خلالها الماء عناصر ميتة ، إلا أنها على اتصال وثيق بالخلايا الحية ، ولذلك كان المعتقد أن انتقال الماء إلى أعلى يعزى بطريقة ما إلى الخلايا الحية فى الساق وأنه لولا قيام هذه الخلايا بمختلف أنواع النشاط الحيوى ما كان الماء ليرتفع إلى الأوراق ، غير أن التجارب التى قام بها ستراسبرجر (Strasburger) — عام ١٨٩٣ — قد بينت بوضوح أن الآلية التى ترتفع بها العصارة فى النباتات مستقلة عن الخلايا الحية بالساق . ففى إحدى التجارب قطعت شجرة مسنة من البلوط بالقرب من سطح الأرض ، ثم غمس الطرف المقطوع فى محلول من حمض البكريك — وهو ذو تأثير سام على الخلايا الحية — فلوحظ أن محلول الحمض يرتفع ببطء خلال الساق . وعندما أضيف الفوكسين (Fuchsin) إلى المحلول الذى غمس فيه طرف الشجرة المقطوع لمدة ثلاثة أيام بعد حمض

البكريك لوحظ صعوده إلى قمة الشجرة خلال الأنسجة التى قتل حمض البكريك خلاياها الحية . وقد أيدت بحوث من تبعه من العلماء تلك النتيجة التى وصل إليها ستراسبرجر .

٢ - الضغط الجذرى : سبق أن ذكرنا أن العصارة الخشبية ترشح من سطح القطع للسيقان التى قطعت حديثاً ، كما ترشح كذلك من الجروح والثقوب التى تعمل فى النبات . ويعزى هذا الرشح إلى ضغط يوجد فى العصارة التى تملأ القنوات الخشبية وينشأ عن آلية فى الجذر غير واضحة تماماً ومن ثم كانت تسميته « بالضغط الجذرى » (Root pressure).

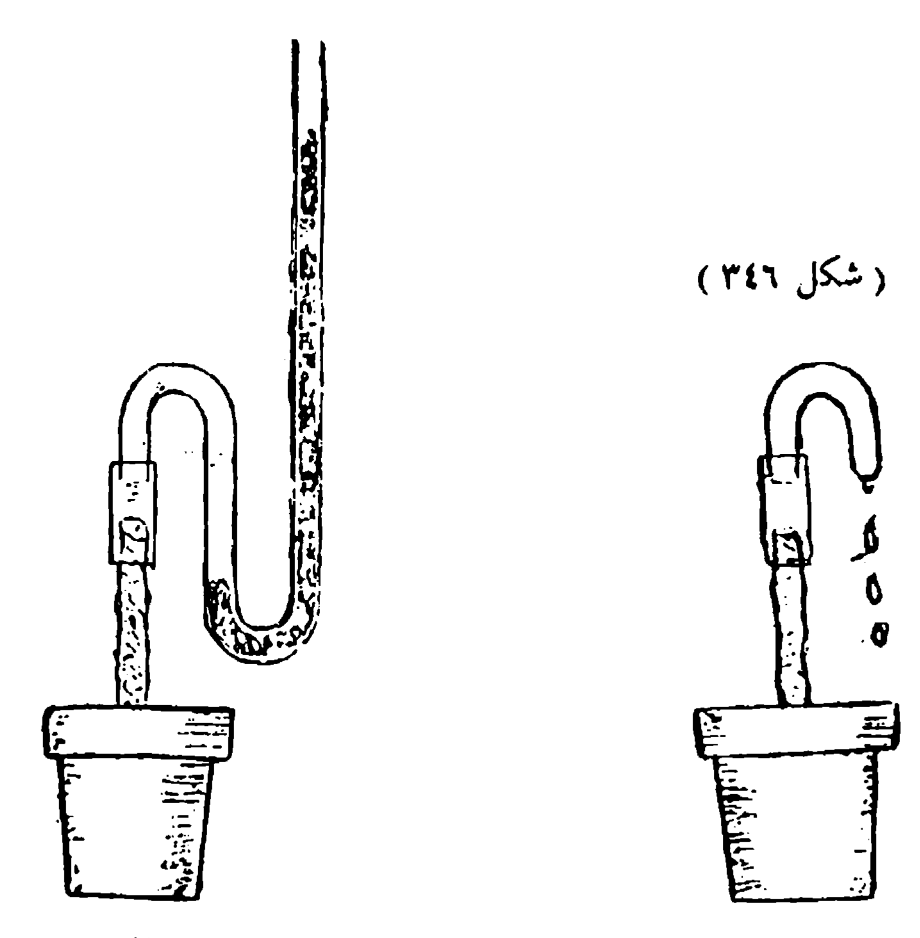
ويمكن توضيح الضغط الجذرى بتوصيل أنبوبة زجاجية منثنية وممتلئة بالماء بسطح القطع بوساطة أنبوبة من المطاط ، فيشاهد بعد فترة تساقط قطرات الماء -- التى حلت محلها العصارة المتدفقة بالضغط الجذرى -- من طرف الأنبوبة المنثنية (شكل ٣٤٦) . فإذا أستبدلت هذه الأنبوبة بمانومتر زئبقى (شكل ٣٤٧) فانه يمكن تقدير الضغط الجذرى ، إذ يرتفع الزئبق بعد مدة فى شعبة المانومتر البعيدة عن الساق المقطوعة ، ويكون الفرق بين مستوى سطحى الزئبق فى شعبتى المانومتر مساوياً لقوة الضغط الجذرى .

وتختلف القيمة المقدرة الضغط الجذرى باختلاف النبات ، ولكنها يندر أن تتجاوز ضغطين جويين . وقد تقل عن ذلك كثيراً فى معظم النباتات ، ولا توجد علاقة بين قيمة الضغط الجذرى وحجم العصارة المتدفقة من سطح القطع ، ففى بعض أنواع النباتات تتدفق أحجام كبيرة نسبياً من العصارة بتأثير ضغط منخفض نسبياً ، وفى البعض الآخر يحدث العكس تماماً .

وقيمة الضغط الجذرى ليست ثابتة فى النبات الواحد فى مختلف فصول العام ، إذا المعتقد أنه يبلغ أقصى قيمته فى الفصول التى لايحمل النبات فيها أوراقاً ، وعلى الأخص فى بداية فصل الربيع قبل تفتح الأوراق الجديدة .

(شكل ٣٤٧)

(شكل ٣٤٦)



جهاز لتوضيح الضغط الجذرى لنبات مزروع فى أصيص

مانومتر زئبقى لقياس الضغط الجذرى

وتكفى قوة الضغط الجذرى — عندما تكون قيمتها ضغطين جويين — لرفع العصارة إلى أعلى مسافة ٢٠ متراً تقريباً . إلا أن كثيراً من الأشجار يزيد ارتفاعها على ذلك كثيراً ، كما أنه قد تعذر تمييز الضغط الجذرى فى أكثر الأشجار طولا . وعلى الأخص فى المخروطيات . أى أن الضغط الجذرى — حتى عندما يكون فى أقصى قيمته — لا يكفى وحده لرفع الماء فى الأشجار العالية . وفى بعض الأحيان قد تكون قوة الضغط الجذرى من الكبر بمكان بحيث ترتفع العصارة إلى ارتفاع كبير ، فقد سجل هوايت (White) — عام ١٩٣٨ — ضغطاً جذرياً قدره ٩ ضغوط جوية فى قطع صغيرة من جذور الطماطم ، وهذا الضغط يكفى لرفع العصارة ٩٠ متراً أو أكثر ، أى إلى قمة

أكثر النباتات طولا ، ومع ذلك فإن المعدل الذى تنتقل به العصارة خلال الساق بالضغط الجذرى يقل مائة أو ألف مرة عن معدل الانتقال عندما تكون الظروف مواتية لنتح سريع .

والدليل القاطع على أن صعود العصارة لا يعزى بوجه عام إلى الضغط الجذرى أنه فى منتصف الصيف - عندما تكون حركة الماء خلال الساق سريعة - يصعب تمييز أى ضغط جذرى ، بل على العكس قد يكون هناك شد جذرى . بمعنى أنه إذا قطعت ساق فى هذه الظروف ، وصب فوق سطح القطع مباشرة بعض الماء ، فانه لن يكون هناك إدماء ، بل على العكس يسحب الماء إلى داخل الجذور . وهذا يدل على أن عمود الماء الصاعد يعانى فى هذه الأوقات شداً لاضغطاً .

يستنتج مما تقدم أنه على الرغم من أن الضغط الجذرى قد يكون فى بعض أنواع النباتات - وتحت ظروف معينة - من بين العوامل التى تساعد على صعود العصارة ، إلا أنه لما تقدم من اعتراضات لايمكن اعتباره الآلية الأساسية التى تنتقل بوساطتها العصارة خلال النباتات .

٣ - التشرب والخاصة الشعرية : يرتفع الماء فى الجدر السميكة للأوعية الخشبية بخاصة التشرب نظراً لطبيعتها الغروانية ، إلا أن كمية الماء التى ترتفع بهذه القوة ضئيلة جداً ، حيث قد ثبت أن الماء الصاعد يتحرك أساساً فى تجاويف الأوعية وليس على جدرها ، كذلك تساعد الخاصة الشعرية على رفع العصارة فى الأوعية الخشبية ، إلا أن اتساع هذه الأوعية لايساعد على رفع الماء إلى علو كبير ، ففى القصيبات الضيقة التى يبلغ قطرها ٠,٠٢ مم يرتفع الماء مسافة ١٥٠ سم ، أما فى الأوعية التى يصل قطرها إلى ٠,٥ مم فإن الماء يرتفع بالقوة الشعرية مسافة ٦ سنتيمترات فقط .

٤ - نظرية التماسك (Cohesion theory) : تفسر نظرية التماسك الطريقة التى يرتفع بها الماء فى النبات ضد الجاذبية الأرضية ، وذلك عندما

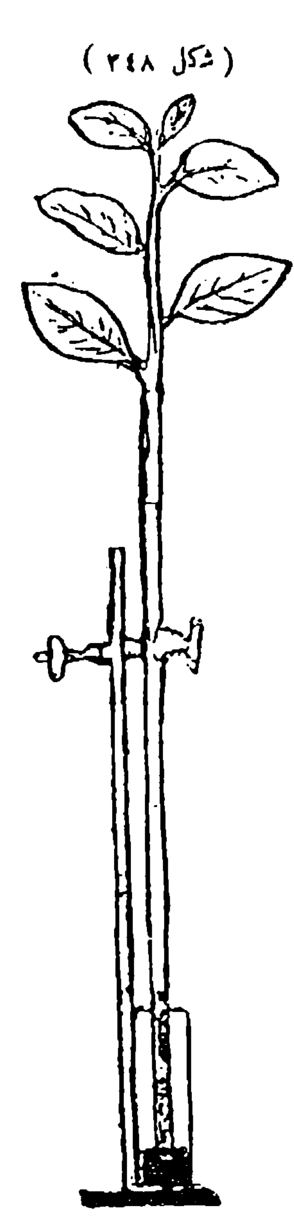
تكون القوة التي تعمل على صعود العصارة ناشئة من الورقة . وملخص هذه النظرية — كما وضعها العالمان ديكسون وجولي — أنه نظراً لقوة التماسك بين جزيئات الماء فإن أعمدة العصارة التي تملأ تجاويف الأوعية الخشبية ترتفع كوحدة متماسكة إلى قمة النبات بقوة شد عظيمة ناتجة عن النتح . وبالإضافة إلى قوة التماسك تعمل قوة أخرى — هي قوة التلاصق (Adhesion force) بين جزيئات الماء وجدران الأوعية الخشبية — على إبقاء عمود الماء معلقاً .

وقد سبق أن ذكرنا عند شرح آلية الامتصاص السلبي أن فقد خلايا النسيج الوسطي في الورقة لبعض مائها أثناء عملية النتح يؤدي الى احداث توتر في عمود العصارة في الأوعية الخشبية للورقة يتبعه سحب بقية عمود العصارة إلى أعلى كوحدة متصلة تبتدىء من التربة . وعلى ذلك يمكن تصور الماء في النبات كخيط متصل من جدران الخلايا في النسيج الوسطي إلى الشعيرة الجذرية ، وقد يستمر اتصال هذا الخيط بماء التربة ، فاذا جذب هذا الخيط من نهايته في الثغر — بفعل النتح — فإنه يسحب من التربة ويرفع إلى الأوراق وهكذا يجلب الماء من مسافات بعيدة في التربة ، ويصل إلى قمم النباتات الشاهقة بفعل قوة الشد الناتجة عن النتح .

وهناك الكثير من الأدلة التي تؤيد نظرية التماسك . فعناصر الخشب تعاني في الحقيقة توتراً عندما يكون النبات واقعاً تحت تأثير ظروف تساعد على سرعة التبخر ، ويتضح هذا التوتر من تقلص الجذع أو الخلايا الخشبية ، وتدل قيمته على أن الخلايا الخشبية واقعة تحت توتر يزيد على ضغط جوي واحد ، ومن المعتقد أن أنواع التغلظات المختلفة لجدر الأوعية تحول دون انطباقها عندما تتعرض لهذا الشد وإلا كانت هذه التغلظات غير ذات موضوع . وقد وجد أن الماء عندما يكون خالياً من الفقاقيع الغازية والشوائب الدقيقة يمكن أن يتغلب بوساطة قوة التماسك بين جزيئاته على الشد الموجود في الخشب ، كذلك على الرغم من أن الضغط الجذري يستطيع رفع الماء إلى قيمة قصوى تبلغ ٣٢ قدماً تقريباً فان غصناً مورقاً ينتح بنشاط يمكن أن يرفع عموداً من الماء إلى ارتفاع يزيد على ذلك كثيراً .

ويمكن توضيح عمل القوة الناشئة عن النتح بتوصيل ساق مورقة بالطرف العلوى لأنبوبة زجاجية مملوءة بالماء وغمس الطرف السفلى لتلك الأنبوبة فى وعاء به زئبق ، وملاحظة ارتفاع الزئبق فى الأنبوبة ليحل محل عمود الماء الذى امتصه النبات (شكل ٣٤٨) . وقد يستمر ارتفاع الزئبق إلى علو كبير يقدر بعدة ضغوط جوية . فاذا وضع مكان الساق النباتية وعاء خزفى مسامى فإن الزئبق يرتفع كذلك فى الأنبوبة . أى أن التبخر من سطح الأوراق – أو من سطح الوعاء المسامى – يسبب ضغطاً سالباً ، أى شداً ، وينتقل هذا الشد خلال عمود الماء الى الزئبق الذى يسحب فى الأنبوبة . ويزداد ارتفاع الزئبق الى أعلى فى الأنبوبة الزجاجية كلما نشطت عوامل التبخر الجوية .

(شكل ٣٤٨)



تجربة لتوضيح أن تبخر الماء من الأوراق يولد قوة ترفع عمود الماء والزئبق

وتتطلب صحة هذه النظرية ألا تسمح أنابيب التوصيل بدخول الفقاقيع الهوائية التى إن وجدت يؤدى تمددها عند الشد إلى تقطع الأعمدة المائية فى هذه الأنابيب . ولما كان الكثير من الأوعية والقصيبات تحوى بعض الفقاقيع الهوائية فإنه لابد من وجود آلية لفصل هذه الفقاقيع من أعمدة الماء الصاعدة فيها ، وفى الواقع تؤدى الجدر الخلوية المبللة ونقرها المضفوفة ذات التخوت الغالقة إلى عزل ما يتصادف وجوده من فقاقيع غازية فى أعمدة الماء .

يتضح مما سبق أن صعود العصارة فى الساق قد يكون نتيجة لقوة الشد التى يسببها النتح أو نتيجة لقوة الضغط الجذرى من أسفل ، ويتوقف

ذلك على كمية الماء الداخلة إلى النبات والمفقودة منه ، فإذا كان معدل فقد الماء أكبر ارتفع عمود الماء بالشد ، أما إذا كان الامتصاص هو السائد فإن عمود الماء يرتفع بالضغط ، أى أن قوة التماسك والضغط الجذرى متعاونان على رفع الماء إلى قمم النباتات .

النتـح

النتح هو خروج الماء على هيئة بخار من الأجزاء النباتية المعرضة للجو ، وعلى الأخص من الأوراق ، إذ أن معظم النتح يحدث عن طريقها ، وتعتبر العملية فى جوهرها بخراً وانتشاراً ، إلا أنها ليست بخراً من سطح معرض خالص . ويعتبر الكثيرون من علماء النبات أن النتح يتميز عن البخر بأنه عملية حيوية ، إلا أنه على الرغم من أن فقد بخار الماء من الأنسجة الحية يتأثر جزئياً بحيوية الأنسجة فإنه يشبه عملية التبخر الطبيعية إلى حد كبير . ومع أن معدل فقد الماء من نسيج حى يختلف اختلافاً كبيراً عن معدل فقده من نسيج ميت إلا أن هذا الاختلاف يمكن أن يفسر على أسس ميكانيكية .

وتفقد النباتات — عن طريق النتح — مقادير كبيرة من الماء ، فقد وجد أن ما ينتجه نبات من عباد الشمس تام النمو فى يوم معتدل الحرارة والرطوبة يبلغ نحو لتر من الماء ، وأن ما يفقده فدان من نبات القطن فى مصر يقدر بنحو خمسين طناً من الماء فى اليوم الواحد ، وتبلغ هذه القيمة أضعاف مايحتفظ به النبات للقيام بسائر عملياته الحيوية .

وتختلف الآراء فيما يمكن أن يكون للنتح من فائدة للنبات ، فمن قائل أن تيار النتح يحمل معه من التربة كمية كافية من المواد الذائبة ويعمل على سرعة توزيعها فى النبات ، إلا أن بحوث كثير من العلماء قد أوضحت أنه لا علاقة للنتح بامتصاص النبات للأملاح ، فآلية انتقال الماء تختلف تماماً عن آلية نفاذية الأملاح ، وتتم كل من العمليتين منفصلة عن الأخرى تمام الانفصال . ومن قائل أن النتح يعمل على وقاية النبات من حرارة الشمس — وخاصة فى وقت

الصيف — حيث تستغل معظم الطاقة الشمسية الساقطة على الأوراق فى تبخير الماء ، إلا أن هذا قد لا يكون صحيحاً فى حالة النباتات الصحراوية التى أوتيت من التشكلات الجفافية ما يساعدها على تقليل النتح — مع أنها معرضة لحرارة زائدة — وذلك درءاً لخطر الجفاف . وحتى فى النباتات الوسطية لا يستنفد النتح — وهو فى أقصى شدته — غير جزء من الطاقة الشمسية التى تمتصها الورقة ، وهو بهذا لا يؤدى دوراً أساسياً ، فالطاقة الممتصة يمكن أن تنتقل ثانية إلى الجو المحيط بوسائل فيزيائية بحتة كالإشعاع والتوصيل ، تماماً كما تنتقل الحرارة من جسم ارتفعت درجة حرارته عن درجة حرارة الوسط المحيط به .

بقى لنا أن نتساءل ، إذا لم يكن للنتح من فائدة تذكر — بل ربما أدى عند اشتداده أو عند نقص المحتوى المائى للتربة إلى حالة ذبول خطيرة على النبات — فلماذا إذن يحدث النتح ؟ . ويمكن الإجابة على هذا السؤال بأن الورقة — وهى طريق النتح — مهيأة بتركيبها التشريحى لعملية البناء الضوئى ، وقد يكون من توافق الصدف أن هذا التركيب الذى يسمح بتبادل الغازات لا يحول دون فقد بخار الماء .

النتح الأدمى والنتح الثغرى :

يتميز النتح إلى نتح أدمى (Cuticular transpiration) إذا كان خروج بخار الماء عن طريق الجدر الخارجية لخلايا البشرة ، وإلى نتح ثغرى (Stomatal transpiration) إذا كان خروج بخار المـــاء عن طريق فتحات الثغور .

ويمثل النتح الأدمى نسبة ضئيلة تقل كثيراً عن ١٠٪ من النتح الكلى ، ويكاد هذا النوع من النتح أن يكون معدوماً تماماً فى النباتات الصحراوية . إلا أن نسبته قد تصل فى حالات نادرة إلى ٢٥٪ ، وذلك فى أوراق النباتات التى تعيش فى الظل ، ويعتمد ذلك على سمك طبقة الأدمة المتكونة على الجدر الخارجية للبشرة ، فهى سميكة جداً فى النباتات الصحراوية . ورقيقة فى أوراق النباتات الظلية .

ويسود النتح الثغرى فى النباتات المورقة وهو يشتمل على :

(ا) تبخر الماء من جدر خلايا النسيج الوسطى المشبعة إلى المسافات البينية والغرف الهوائية فى الورقة .

(ب) خروج بخار الماء من هذه الغرف المشبعة إلى الجو الخارجى خلال فتحات الثغور .

ومن ثم يعتمد النتح الثغرى على المحتوى المائى لخلايا النسيج الوسطى وعلى حركة الثغور ، فالثغور عندما تكون منفتحة تسمح لبخار الماء بالمرور خلالها طالما كان ضغطه فى المسافات البينية أعلى من ضغطه فى الهواء الجوى المحيط بالنباتات ، وعندما تكون منغلقة تعوق خروجه .

طرق تقدير النتح :

يمكن تقسيم الطرق المستعملة فى تقدير النتح تحت ثلاث مجموعات تعتمد على قياس المعايير الآتية :

١ — كمية بخار الماء المفقود .

٢ — النقص فى وزن النبات أو الجزء النباتى المستعمل .

٣ — معدل امتصاص الماء .

طرق تقدير كمية بخار الماء المفقود : وتعتمد إحدى هذه الطرق على تغير لون ورقة كلوريد الكوبلت (ورقة ترشيح مشبعة بمحلول كلوريد الكوبلت ٣٪) من اللون الأزرق — عندما تكون جافة — إلى اللون الوردى عندما يرطبها بخار الماء . ولتقدير النتح يغطى سطح الورقة النباتية بورقة جافة من كلوريد الكوبلت ثم توضع بين لوحين من الزجاج حتى لا تتأثر ورقة الكوبلت بالرطوبة الجوية ، فإذا قدر الوقت اللازم لتحويل ورقة الكوبلت من لون أزرق قياسى إلى لون وردى قياسى أيضاً فإنه يمكن الحصول على قيمة تتناسب عكسياً مع معدل النتح . وتستخدم هذه الطريقة فى مقارنة معدل النتح من سطحى ورقة نباتية ومن أوراق نباتية مختلفة ، إلا أن هذه الطريقة تتعرض

لانتقادات أهمها أن الورقة لا تنتح أثناء التجربة نتحاً طبيعياً كما لو كانت تحت الظروف العادية .

وهناك طريقة أخرى تعتمد على جمع ووزن بخار الماء المفقود ، وذلك بوضع الورقة أو الفرع النباتى فى حيز محكم - جداره من الزجاج أو من مادة شفافة لا تحجب ضوء الشمس عن النبات - ثم يدفع فى الحيز المحتوى على النبات بتيار من الهواء بسرعة معينة ؛ وتقدر كمية الرطوبة التى يحملها الهواء عند خروجه ، وذلك بإمراره فى أنابيب على شكل حرف «U» بها مادة مجففة مثل كلوريد الكالسيوم أو خامس أكسيد الفوسفور ، ثم تعين الزيادة فى وزن هذه الأنابيب . وعند القيام بهذه التجربة يعمل جهاز مماثل لا يحتوى على المادة النباتية ، وذلك لتقدير كمية بخار الماء فى الجو ، فيكون الفرق بين القيمتين معادلا لكمية الماء التى نتحها العضو النباتى خلال فترة التجربة . وتستخدم هذه الطريقة لقياس النتح من النباتات وهى فى الحقل ، إلا أن وضع النبات أو جزء منه فى حيز محدود يجعل النتح منه غير طبيعى .

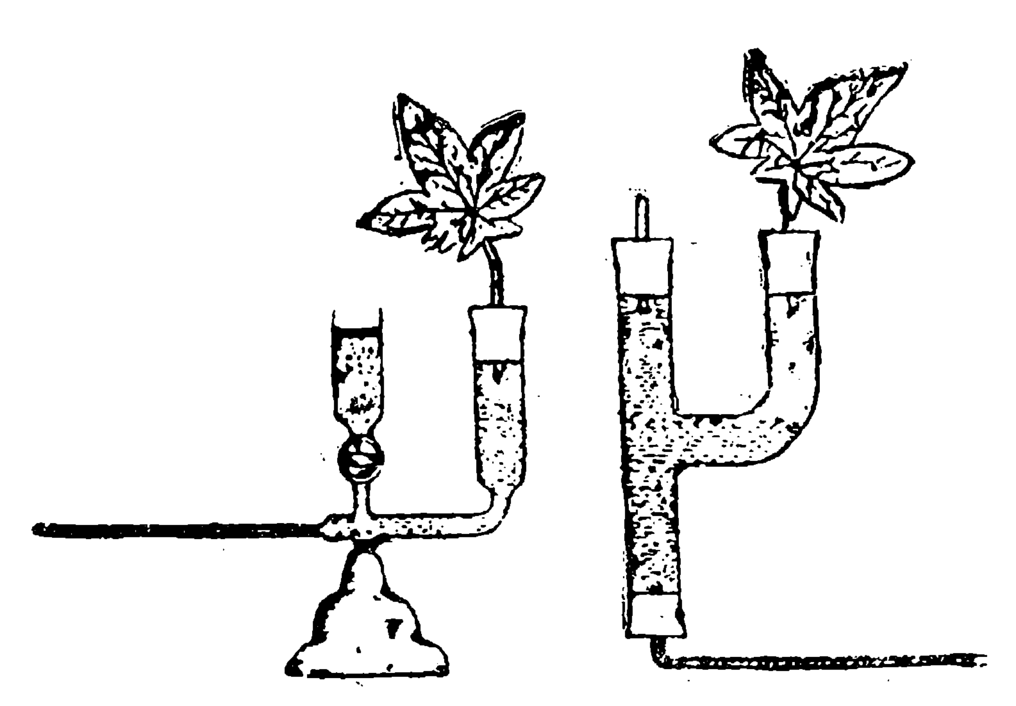
طريقة تقدير النقص فى وزن النبات : وهى أكثر الطرق دقة ، وتستخدم لتقدير النتح من نبات نام فى أصيص . ويلاحظ فى هذه الحالة أن يكون جدار الأصيص غير منفذ للماء ، فإذا لم يكن كذلك فإنه لا بد أن يغطى بغلاف من الألومنيوم ، كما يغطى سطح التربة بطبقة من الشمع حتى لا يكون هناك فقد إلا عن طريق النبات ، ثم يوزن الأصيص وبه النبات على فترات متعاقبة ، ويقدر نقص الوزن فى كل مرة ، فيكون معادلا لما يفقده النبات من الماء فى الفترة التى تحدث خلالها المشاهدة . ولا يعيب هذه الطريقة إلا نقص المحتوى المائى للتربة إذا استمرت التجربة مدة طويلة ، إذ من المعروف أن نقص المحتوى المائى يؤثر فى امتصاص الماء ومن ثم فى معدل النتح .

وقد استخدمت هذه الطريقة كذلك لتقدير النتح لفرع نباتى أو لورقة منفرده . وذلك بوزنها بمجرد قطعها من النبات بموازين خاصة سريعة ، ثم وزنها بعد برهة وجيزة لا تتجاوز دقيقة أو دقيقتين .

طريقة تقدير الماء الممتص : ويستعمل فيها جهاز البوتومتر (Potometer) ويوضح (شكل ٣٤٩) أنواع البوتومترات الشائعة الاستعمال . وتقتصر هذه الطريقة على تقدير النتح من الفروع والأوراق النباتية المقطوعة ، وذلك بوضعها فى الأنبوبة الجانبية للبوتومتر ثم تعيين كمية الماء المتراجعة فى الأنبوبة الشعرية ؛ أى التى امتصها النبات . ولما كانت كمية الماء التى ينتحها النبات تختلف فى كثير من الأحيان عن كمية الماء التى يمتصها ؛ لذلك يقدر النتح فى هذه الطريقة بوزن الجهاز كله على فترات متعاقبة .

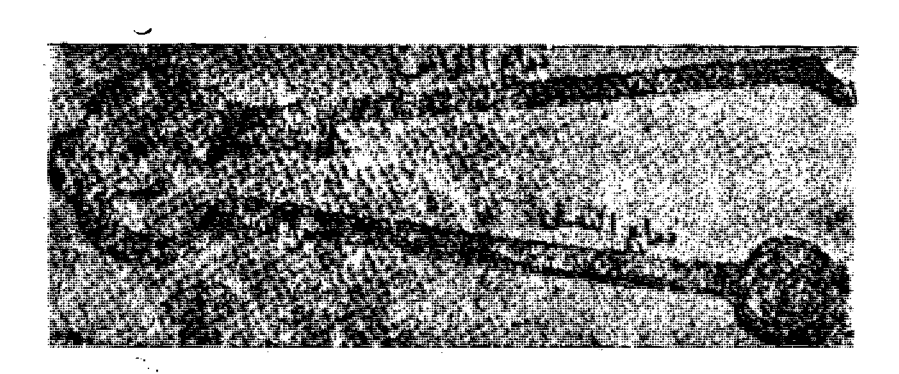
ولما كان معدل النتح يرمز غالباً إلى كمية الماء التى تفقدها وحدة المساحات من السطح الناتح ، لذلك تقدر مساحة الأوراق المستعملة فى التجربة برسم المحيط الخارجى لها على ورقة ثم تتبعه بجهاز البلانيمتر (Planimeter) أى مقياس السطوح (شكل ٣٥٠) ، كما يمكن تقدير المساحة بوزن قطعة من الورق مطابقة للورقة النباتية موضوع التجربة ، ثم مقارنة وزنها بوزن ديسيمتر مربع من نفس نوع الورق .

(شكل ٣٤٩)



نوعان من البوتومترات المستخدمة فى معامل الدراسة

(شكل ٣٥٠)



الجهاز الثغرى

يتكون الثغر من فتحة تحدها خليتان حارستان ، تختلفان عن خلايا البشرة لأخرى فى شكلهما الكلوى واحتوائهما على بلاستيدات خضر ، وكذلك فى غلظ جدرهما تغلظاً غير منتظم . إذ أن جدرهما البطنية — أى المواجهة لفتحة لثغر — أكثر تغلظاً من جدرهما الظهرية .

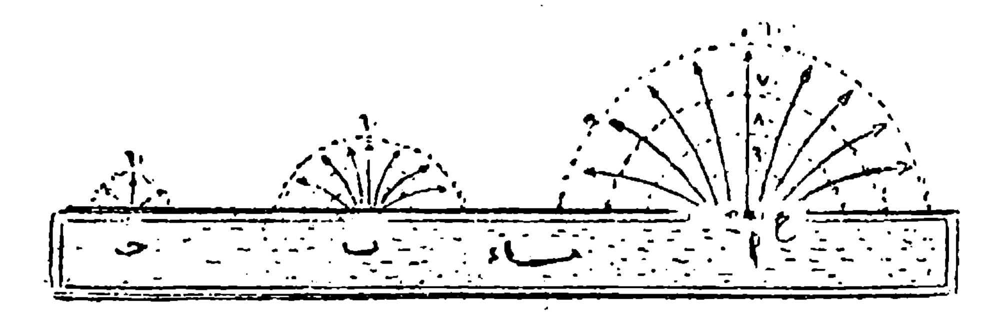
ويختلف عدد الثغور بالنسبة لوحدة المساحات فى أوراق النباتات المختلفة ختلافاً كبيراً . إذ أنه يتراوح عادة بين ٥٠ و ٣٠٠ فى المليمتر المربع ، وقد زيد على ذلك فى بعض الأحيان . كذلك يختلف توزيع الثغور على سطحى لورقة ، فيكون عددها فى الغالب أكبر على السطح السفلى منه على السطح لعلوى للورقة . وقد ينعدم وجود الثغور على السطح العلوى لأوراق كثير ن النباتات مثل نبات التين المطاط **(Ficus elastica)** ، وقد توجد الثغور على السطح العلوى فقط كما فى الأوراق الطافية للنباتات المائية كالبشنين الأبيض **(Nymphaea alba)** .

ويلاحظ أن المساحة التى تشغلها فتحات الثغور تبلغ ما بين ٠,٥٪ و ٣٪ فقط من مساحة السطح الكلى للورقة النباتية . ففى نبات القمح مثلا تبلغ هذه لنسبة ٠,٥٢٪ ونبات الشوفان ٠,٩٨٪ . وترتفع فى نبات عباد الشمس لى ٣,١٣٪ .

معدل الانتشار خلال الثغور : من الملاحظ أنه بينما تشغل فتحات الثغور نسبة ضئيلة جداً من مساحة السطح الكلى للورقة فإن انتشار بخار الماء خلالها قد يصل — فى بعض الحالات — إلى ٥٠٪ من معدل الانتشار من سطح معرض من الماء يساوى فى مساحته مساحة سطح الورقة . ففى نبات القمح مثلا — حيث تشغل الثغور ١/٢٠٠ (أى ٠,٥٪) من السطح الكلى للورقة — قد يبلغ مقدار ما تفقده الورقة من بخار الماء ١/١٠ (أى ١٠٪) مما يفقده سطح مماثل من الماء ، أى أن سرعة انتشار بخار الماء خلال الثغور تعادل ٢٠ مرة سرعة انتشاره من مساحة مماثلة من سطح مائى معرض . ويعزى هذا الاختلاف إلى خواص انتشار الغازات عامة خلال الفتحات الدقيقة . فقد وجد العالمان براون وإسكومب (Brown & Escombe) — عام ١٩٠٠ — أن معــدل انتشار الغازات خلال الثقوب الدقيقة يتناسب مع أقطارها ، أى مع أطوال محيطاتها — وليس مع مساحتها كما هو الحال فى الثقوب الكبيرة . وهذا يعنى أنه بينما يؤدى تنصيف القطر إلى إنقاص مساحة الثقب إلى الربع فإن معدل الانتشار — على حسب قانون القطر — يتناقص إلى النصف فقط ، أى أن معدل الانتشار لوحدة المساحة من الثقب الصغير قد تضاعف . ويتبع ذلك أن كمية بخار الماء التى تخرج فى وحدة زمنية من عدة ثقوب صغيرة تفوق كثيراً كميته المنتشرة خلال ثقب واحد كبير مساحته تساوى مجموع مساحات الثقوب الصغيرة .

ويوضح (شكل ٣٥١) الظروف التى يتم فيها الانتشار من حاجز عديد الثقوب ومقارنتها بتلك التى يتم فيها الانتشار من ثقب كبير له نفس مساحة

(شكل ٣٥١)



رسم تخطيطى يوضح الانتشار خلال حاجز به ثقوب مختلفة الأقطار

ثقوب الصغيرة . والشكل لحوض ممتلئ بالماء ومغطى بحاجز به ثقوب ا ، ب ، ج) مختلفة المساحة ، وفى الهواء الساكن ينتشر بخار الماء من هذه ثقوب فى اتجاه الأسهم ويميل إلى التراكم فوقها مكوناً طبقات مختلفة الرطوبة نسبية ، تمثلها الخطوط المتقطعة . وتمثل الأرقام (٩٠ ، ٨٠ ، ٧٠ ، ٦٠) رطوبة النسبية .

يتبين من هذا الشكل أنه فى حالة الثقبين الصغيرين (ب ، ج) تكون لمسافة بين طبقات الرطوبة قليلة ، ومن ثم يكون التدرج الانتشارى (Diffusion gradient أشد انحداراً ، ولهذا السبب يزيد معدل الانتشار ن وحدة المساحة كلما صغر الثقب .

وإذا سد منتصف الثقب الكبير « ا » بحاجز صغير « ح » فإن كمية بخار لماء التى تنتشر منه لا تنقص كثيراً ، وذلك لتداخل خطوط الانتشار التى كانت تخرج من مكان الحاجز « ح » مع الخطوط التى تخرج من أجزاء الثقب لمجاورة ، الأمر الذى يؤدى إلى تعطيل الانتشار ، ولكن إذا فتح ثقب جديد ساو فى مساحته لمساحة الحاجز « ح » وعلى مسافة بعيدة كالثقب «ب» فإن ية بخار الماء المنتشرة تزيد كثيراً على مثيلتها من الثقب «ا» بأكمله ، وذلك تعدام التداخل بين خطوط انتشار بخار الماء من الثقوب المتجاورة ، مما دل على أن سرعة انتشار بخار الماء خلال عدد كبير من الثقوب الصغيرة لموزعة فى مساحة كبيرة تزيد كثيراً على سرعة الانتشار خلال ثقب واحد كبير ساحته تعادل مجموع مساحات الثقوب الصغيرة . وقد دلت التجارب على أن تداخل ينعدم تقريباً إذا زادت المسافة بين الثقوب المتجاورة على ثمانية و عشرة أمثال قطرها .

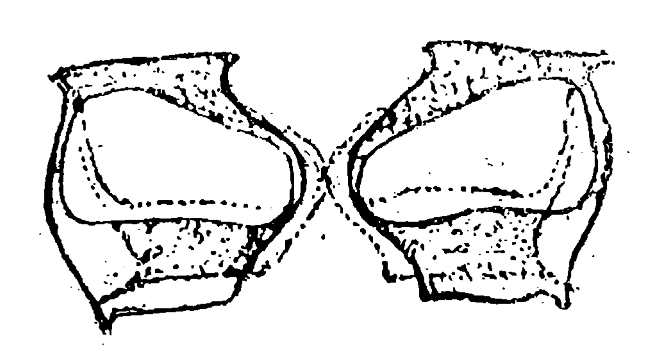
ويمكن إعتبار بشرة الورقة النباتية ذات الثغور العديدة كحاجز عديد ثقوب وتتوزع الثغور فى البشرة بحيث تبلغ سعتها الانتشارية نهايتها القصوى ند تمام تفتحها ، فعلى السطح السفلى لورقة عباد الشمس مثلا يبلغ البعد بين ثغور ثمانية أمثال قطرها تقريباً ، ولو أستغلت السعة الانتشارية للثغور فى

حالة عباد الشمس استغلالا كاملا لأدى ذلك إلى أن يزيد معدل ما تفقده الورقة من الماء من ٣ إلى ٦ أمثال أقصى معدل للنتح وجد فى عباد الشمس . يدل ذلك على أن معظم النباتات قلما تستغل الحد الأقصى للسعة الانتشارية للثغور .

بقيت نقطة أخيرة خاصة بالانتشار خلال الثغور . وهى عمق الأنبوبة الثغرية (Stomatal tube) التى تخترقها خطوط انتشـــار بخار الماء ، وهى تقابل فى الشكل السابق سمك الحاجز المغطى للحوض ، ومن الواضح أنه كلما زاد عمق الأنبوبة الثغرية نقص معدل انتشار بخار الماء .

حركة الثغور وعلاقتها بالضوء والظلام: من المعروف أن الثغور فى معظم النباتات تنفتح فى الضوء وتنغلق فى الظلام ، وأن تفتحها يحدث نتيجة لامتلاء الخلايا الحارسة وتمدد جدرها الظهرية ؛ وبالعكس يسبب نقص امتلاء هذه الخـــلايا انغلاق الثغور (شكل ٣٥٢) .

(شكل ٣٥٢)



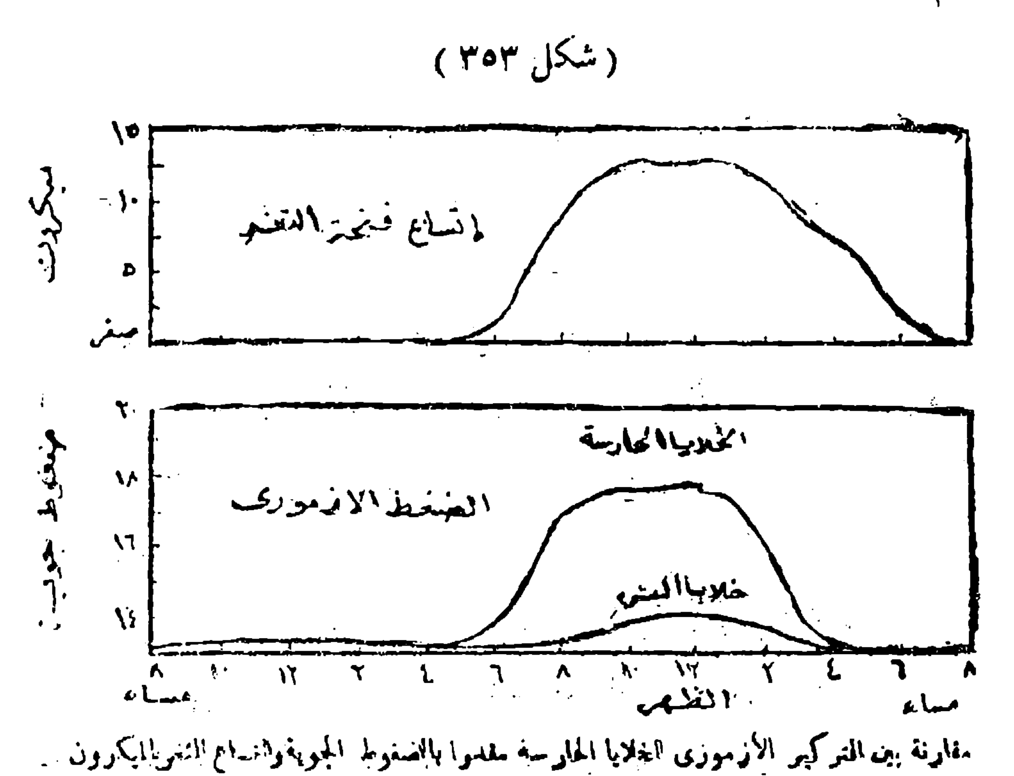
رسم تخطيطى للخلايا الحارسة أثناء انفتاح الثغور وانغلاقها ويمثل التظليل الثقيل وضع هذه الخلايا أثناء الانفتاح ، أما التظليل الخفيف فيمثل وضع الخلايا أثناء الانغلاق .

ويتغـــير امتـــلاء الخلايا الحارسة بتغير تركيزها الأزموزى . فعنـــدما يزيد تركيز عصيرها الخلوى يرتفع ضغطها الأزموزى عن الضغط الأزموزى لخلايا البشرة المجـــاورة ، ويترتب على ذلك انتقال الماء إلى الخلايا الحارسة فـــيزداد امتـــلاؤها وينفتح الثغر . أما إذا نقص تركيز العصير الخلوى فى الخلايا الحارسة فإن ضغطها الأزموزى ينخفض ، ويتبع ذلك خروج الماء منها فيقل امتلاؤها وينغلق الثغر . وقد لاحظ كثير من الباحثين حدوث مثل هذه التغيرات فى

الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة ، فبينما تكاد تتساوى الضغوط الأزموزية للخلايا الحارسة والخلايا البشرة عندما تكون الثغور مغلقة ، نرى أن الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة يصبح – عندما تكون الثغور متفتحة – أعلى منه فى الخلايا المجاورة بما يعادل ١٠–١٣ ضغطاً جوياً .

ويبين (شكل ٣٥٣) العلاقة بين الضغوط الأزموزية للخلايا الحارسة وخلايا البشرة فى أثناء حركة الثغور ، وذلك كما وجدها ساير (Sayre) عام ١٩٢٦ .

(شكل ٣٥٣)



مقارنة بين التركيز الأزموزى الخلايا الحارسة مقدرا بالضغوط الجوية واتساع الثغر بالميكرون .
(عن ساير ، عام ١٩٢٦)

ونظراً لاحتواء الخلايا الحارسة على بلاستيدات خضر فقد عزيت زيادة تركيز عصيرها الخلوى – ومن ثم زيادة امتلائها – إلى السكريات المتكونة نتيجة لنشاط عملية البناء الضوئى فى أثناء النهار ، إلا أن كفاءة هذه العملية فى الخلايا الحارسة لا يمكن أن تؤدى بمفردها إلى انفتاح الثغر ، وإلا تطلب ذلك وقتاً أطول بكثير من الذى تنفتح فيه الثغور عند تعرضها للضوء . لذلك يرى البعض أن زيادة الضغط الأزموزى لا يتصل اتصالا مباشراً بعملية

البناء الضوئى بل يرجع إلى تحلل النشا – الذى ثبت وجوده دائماً فى الخلايا الحارسة – إلى سكرات ذائبة . وقد لوحظ فعلا أن المحتوى النشوى للخلايا الحارسة يقل عندما تكون الثغور منفتحة ويرتفع عندما تنغلق . ويحدث تحول النشا إلى سكر والسكر إلى نشا بفعل إنزيم فوسفوربليز النشا (Starch phosphorylase) ، وتوضح المعادلة الآتية طبيعة التفاعل الذى يتم فى وجود الفوسفات غير العضوية :

فوسفوريليز
نشا + حمض الفوسفوريك ⇄ جلوكوز – ١ – فوسفات
النشـــا

وقد أوضح ين وتنج (Yin & Tung) – عام ١٩٤٨ – وجود هذا الإنزيم فى البلاستيدات الخضر بالخلايا الحارسة . وتعتمد نقطة الاتزان فى هذا التفاعل على الرقم الإيدروجينى للوسط ، وقد وجد هينز (Hanes) – عام ١٩٤٠ – أن ارتفاع الرقم الإيدروجينى إلى حوالى ٧ يساعد الاتجاه التحليلى للتفاعل ، وأن انخفاضه إلى ٥ أو أقل يساعد الاتجاه البنائى ، وعلى ذلك فإن تركيز جلوكوز – ١ – فوسفات يكون عند الرقم الإيدروجينى ٧ أعلى منه عند الرقم الإيدروجينى المنخفض .

يمكن إذن تفسير انفتاح وانغلاق الثغور كما يلى : فى الظلام يتراكم ثانى أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس فى الخلايا الحارسة فتزداد درجة حامضية عصيرها الخلوى ، وهذا يساعد الاتجاه البنائى للإنزيم (سكر ← نشا) فينخفض بذلك الضغط الأزموزى للخلايا الحارسة ويقل امتلاؤها فينغلق الثغر . أما فى الضوء فإن ثانى أكسيد الكربون المتراكم يستهلك فى عملية البناء الضوئى ويتبع ذلك انخفاض درجة حامضية العصير الخلوى فى الخلايا الحارسة وهذا يلائم الاتجاه التحليلى للإنزيم (نشا ← سكر) ، وعلى ذلك يرتفع الضغط الأزموزى للخـــلايا الحارسة ويزداد امتلاؤها فينفتح الثغر . ويؤيد هذا التفسير مالاحظه ساير من انفتاح ثغور أوراق نبات الحميض (Rumex patienta) فى الظلام إذا أحيطت بجو من بخـــار الأمونيا ،

انغلاقها فى الضوء إذا وجدت فى جو حامضى ، وكذلك وجـد سكارث (Scarth) أن الرقم الإيدروجينى للخلايا الحارسة يتغير من ٦ إلى ٧,٤ فى ضوء ، على حين يصل إلى ٥ أو أقل فى الظلام .

وعلى الرغم من أن التفسير السابق لآلية انفتاح الثغور وانغلاقها يقدم سيراً مقبولا لمعظم الحقائق المشاهدة ، فقد ظهر فى عام ١٩٦٨ رأى غير فهومنا عن فسيولوجية الثغور . وخلاصة الرأى الذى تزعمه العالم اليابانى رجينو (Fujino) وعدد من العلماء الأمريكيين أن أيون البوتاسيوم (بو+) حرك إلى الخلايا الحارسة عند انفتاح الثغور ، وقد يصل تركيزه إلى ٠,٥ نزيئى ، وهذا كاف لزيادة الضغط الأزموزى ومن ثم انفتاح الثغور . ذا نقلت الأوراق إلى الظلام تحرك البوتاسيوم من الخلايا الحارسة إلى الخلايا مجاورة . ومن ثم تنغلق الثغور .

وقد يصحب أيونات البوتاسيوم فى دخولها أنيونات مناسبة مثل الكلوريد كل —) غير أن راشك وهمبل (Raschke and Humble) عام ١٩٧٣ يشاهدا ذلك فى نبات الفول ، بل كانت حركة البوتاسيوم إلى الخلايا لحارسة مصحوبة بخروج عدد مكافىء من أيونات الإيدروجين (يد +) هذا من شأنه أن يرفع الرقم الإيدروجينى للخلايا الحارسة . ويعتقد أن صدر الإيدروجين هو الأحماض العضوية — مثل حمض الماليك — التى تكون فى الخلايا الحارسة استجابة للعوامل التى تسبب انفتاح الثغور . ويتحد بوتاسيوم مع أنيونات تلك الأحماض وينتج عن ذلك ارتفاع الضغط لأزموزى .

وقد يكون ضخ البوتاسيوم إلى الخلايا الحارسة مرتبطاً بعملية النقل لأيضى وبطاقة يزودها الضوء ، غير أن هذا التفسير يتعارض مع ما شوهد ن انفتاح للثغور فى الظلام فى جو خال من ثانى أكسيد الكربون ، وكذلك فتاحها فى الظلام عند رفع الرقم الإيدروجينى للخلايا الحارسة بتعريضها نو من بخار الأمونيا ، وفى كلتا الحالتين يصحب الانفتاح تحرك للبوتاسيوم

إلى الخلايا الحارسة . وعليه فلا يعتبر التفسير السابق لميكانيكية حركة البوتاسيوم كافياً ، وما زال الموضوع يتطلب مزيداً من الدراسة .

على أن هناك عوامل أخرى غير الضوء تؤثر فى حركة الثغور ، أهمها المحتوى المائى للورقة ودرجة الحرارة . فنقص المحتوى المائى قد يؤدى إلى انغلاق الثغور جزئياً أو كلياً حتى فى وجود الضوء . وقد لاحظ كثير من الباحثين أن الثغور فى أوقات الجفاف تنفتح فى الساعات الأولى من الصباح المبكر فقط ثم تنغلق بقية النهار وطيلة الليل ، ويرجع السبب فى انغلاق الثغور عند نقص المحتوى المائى إلى ازدياد تركيز أيون الإيدروجين فى الخلايا الحارسة إذ أن نقص المحتوى المائى للورقة يزيد من تركيز السكر بها نتيجة لتحلل النشا ومن المعروف أن زيادة المحتوى السكرى فى الخلايا من شأنه أن يزيد معدل التنفس وبسبب انخفاض البناء الضوئى ، وعلى ذلك يتراكم ثانى أكسيد الكربون ويسبب انغلاق الثغور رغم وجود الضوء .

ويعتمد تأثير درجة الحرارة جزئياً على الظروف الجوية الأخرى ، فعندما يكون الضوء وغيره من العوامل ثابتا ومناسبا يزداد انفتاح الثغور فى نباتات القطن والدخان بارتفاع درجة الحرارة إلى ٢٥-٣٠°م ، ولكنه يتناقص إذا ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك . وفى معظم أنواع النباتات يتعذر انفتاح الثغور عند درجات الحرارة القريبة من الصفر المئوى . على أن درجات الحرارة المرتفعة نسبياً (حوالى ٤٠°م) تسبب انفتاح الثغور فى بعض أنواع النباتات فى الظلام .

العوامل الخارجية التى تؤثر فى معدل النتح :

يتبع النتح نظاما يوميا خاصا ، فيزداد معدله فى ساعات النهار وينخفض فى الليل ، ويصل هذا المعدل إلى درجته القصوى عند الظهيرة أو بعدها بقليل . وعند مقارنة المنحنى الذى يمثل النتح بالمنحنيات التى تمثل العوامل الجوية المختلفة – كالضوء ودرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح – يتضح أن هذه العوامل تؤثر فى النتح بدرجات متفاوتة ، إلا أن أبحاث العالمين بريجزوشانتز

(Briggs & Shantz) وغيرهما دلت على أن الإشعاع الشمسي هو أكثرها رتباطاً بالنتح ، فهو — بالإضافة إلى أنه العامل المهم فى حركة الثغور — ؤدى إلى أرتفاع درجة حرارة الجو وانخفاض رطوبته النسبية .

ويحدث النتح نتيجة الفرق بين ضغط بخار الماء فى الغرف الهوائية ورقة — وهو عادة ضغط تشبع — وضغطه فى الجو المحيط بالنبات ، وهو عادة دون ضغط التشبع ، فيزداد النتح بزيادة هذا الفرق وينخفض بنقصه سنحاول فى إيجاز دراسة تأثير العوامل الجوية سالفة الذكر على هذا الفرق، بالتالى على معدل النتح .

١ — رطوبة الجو النسبية : يقصد بالرطوبة النسبية النسبة بين كمية بخار الماء الموجودة فعلا فى حيز ما من الهواء الجوى والكمية اللازمة لتشبيع الهواء فى هذا الحيز فى درجة الحرارة نفسها ، وذلك لأن كمية بخار الماء اللازمة للتشبع زداد بارتفاع درجة الحرارة وتنقص بانخفاضها . ويعبر عادة عن الرطوبة نسبية بنسبة مئوية ، فمثلا إذا كانت الرطوبة النسبية ٥٠٪ عند درجة ٢٥°م إن ذلك يعنى أن الهواء يحمل ٥٠٪ من جميع بخار الماء الذى يمكن أن يحمله عند هذه الدرجة فى حالة التشبع .

ولما كانت ضغوط الغازات تتناسب طردياً مع كميتها (حسب قوانين غازات) فإنه —عند درجة حرارة معينة — يتناسب ضغط بخار الماء فى حجم معين تناسباً طردياً مع كميته ، أى مع الرطوبة النسبية ، ويبين (جدول ٢٢) ضغط بخار الماء فى درجات مختلفة من الرطوبة عند درجتى حرارة ٢٠°م ، ٣٠°م .

جدول (٢٢) ضغط بخار الماء فى درجات مختلفة من الرطوبة

الرطوبة النسبية	ضغط بخار الماء (مم زئبق)	
	عند ٢٠°م	عند ٣٠°م
١٠٠٪	١٧,٥٥	٣١,٨٥
٨٠٪	١٤,٠٤	٢٥,٤٨
٦٠٪	١٠,٥٣	١٩,١١
٢٠٪	٣,٥١	٦,٣٧
١٠٪	١,٧٥	٣,١٨

فإذا كانت الرطوبة النسبية فى الغرف الهوائية للورقة ١٠٠٪ وفى الجو الخارجى ٨٠٪ فإن الفرق بين ضغط بخار الماء فى الداخل والخارج عند درجة ٢٠° م يعادل ٣,٥١مم زئبق (١٧,٥٥ – ١٤,٠٤) ، فإذا انخفضت رطوبة الجو النسبية إلى ٦٠٪ مثلا فإن الفرق بين ضغطى بخار الماء يصبح ٧,٠٢ مم زئبق (١٧,٥٥ – ١٠,٥٣) . وحيث أن معدل انتشار غاز من مكان إلى آخر يتناسب طرديا مع الفرق بين ضغطية فى المكانين فان كمية بخار الماء التى تفقدها الورقة عندما تكون رطوبة الجو النسبية ٦٠٪ هى ضعف ماتفقده عندما تكون الرطوبة ٨٠٪، وذلك بفرض عدم تغير العوامل الأخرى التى تؤثر فى معدل النتح. أى أن معدل النتح يتناسب تناسبا عكسيا مع الرطوبة النسبية.

٢ – **درجة الحرارة :** يزداد معدل النتح بارتفاع درجة حرارة الورقة النباتية أو بارتفاع درجة حرارة كل من الورقة والجو الخارجى ، ويعزى ذلك إلى زيادة الفرق بين ضغط بخار الماء فى الغرف الهوائية فى الورقة وضغطه فى الجو الخارجى وكذلك إلى زيادة معامل انتشار بخار الماء بارتفاع درجة الحرارة .

ويتضح أثر درجات الحرارة فى الفرق بين ضغطى بخار الماء فى داخل الورقة وخارجها من المثل الآتى : نفرض أن ورقة نباتية درجة حرارتها ٢٠°م تنتح فى جو درجة حرارته ٢٠°م ورطوبته النسبية ٨٠٪ ، فيكون الفرق بين ضغط بخار الماء فى الغرف الهوائية المشبعة وضغطه فى الجو الخارجى معادلا ٣,٥١°مم زئبق. فإذا ارتفعت درجة حرارة الورقة والجو الخارجى إلى ٣٠°م – وبقيت الرطوبة النسبية داخل وخارج الورقة ثابتة – فإن ضغط بخار الماء فى الغرف الهوائية المشبعة يزداد إلى ٣١,٨٥مم زئبق (وهو ضغط التشبع) ، أما ضغط بخار الماء فى الخارج فيزداد إلى ٢٥,٤٨مم زئبق ، و على ذلك يصبح الفرق بين ضغطى بخار الماء مساويا ٣١,٨٥ – ٢٥,٤٨مم أى ٦,٣٧مم زئبق وهو مايقرب من ضعف الفرق الأول، وهذا يؤدى إلى زيادة معدل النتح إلى الضعف . أما إذا انخفضت رطوبة الجو النسبية بارتفاع درجة

حرارته — وهذا مايحدث عادة — فإن ذلك من شأنه أن يزيد من قدرة الجو على التحمل ببخار الماء ، وهذا بدوره يساعد على زيادة التبخر من الأوراق .

٣ — الضوء : يؤثر الضوء فى النتح تأثيراً غير مباشر ، فهو فضلا عما له من تأثير فى حركة الثغور فإنه يسبب رفع درجة حرارة الورقة . فعندما تمتص الأوراق الخضر الطاقة الضوئية تستخدم جزءاً منها فى عملية البناء الضوئى ، ولكن الجزء الأكبر من هذه الطاقة يتحول إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة الورقة عن الجو وينتج عن ذلك زيادة بخار الماء فى الغرف الهوائية ، وبالتالى زيادة الفرق بين ضغطى بخار الماء فى داخل الورقة وخارجها ، وهذا يؤدى إلى زيادة النتح ، ويتراوح الفرق بين درجة حرارة الأوراق المعرضة لضوء الشمس المباشر ودرجة حرارة الجو عادة ما بين ٥ و ١٠° م أو أكثر .

كذلك يسبب الضوء زيادة نفاذية الأغشية البلازمية ، فيسهل مرور الما إلى الجدار الخلوى وهذا يؤدى إلى زيادة تركيز بخار الماء فى الغرف الهوائية ، فيرتفع تبعاً لذلك معدل النتح .

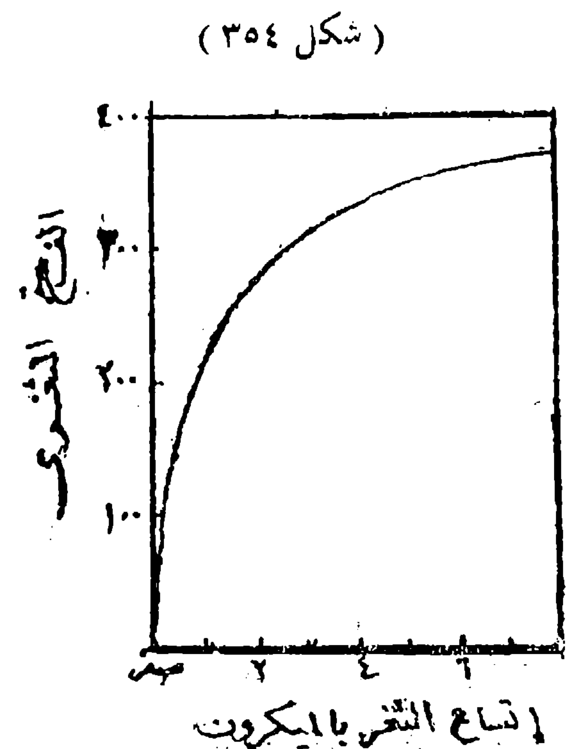
٤ — حركة الهواء : تعمل حركة الهواء على إزالة الجو المشبع ببخار الماء الملامس للسطح الناتج وإحلال هواء أقل منه تشبعاً محله ، فتزداد بذلك قيمة الفرق بين ضغط بخار الماء فى داخل الورقة وخارجها ، وهذا بدوره يؤدى إلى زيادة معدل النتح . كذلك تسبب التيارات الهوائية ثنى الأوراق واعتدالها — أى تقلص المسافات البينية ثم تمددها — على التعاقب مما يؤدى إلى طرد الهواء المشبع ببخار الماء من الغرف الهوائية عند الانثناء ، ودخول هواء أكثر جفافا عند الاعتدال ، فيعمل على زيادة التبخر من الخلايا ، ويزداد تبعاً لذلك معدل النتح ، إلا أنه إذا جاوزت شدة الرياح حداً معيناً فإن الثغور قد تنغلق ، ومن ثم ينقص معدل النتح بدرجة كبيرة .

العوامل الداخلية التى تؤثر فى معدل النتح :

١ — الفتحة الثغرية: لما كانت فتحات الثغور هى الطريق الأساسى للبخار المفقود من النباتات فإنها تعتبر عاملا مهماً من عوامل النتح ، فبديهى أن

انغلاق هذه الفتحات تماماً يؤدى إلى انعدام النتح تقريباً، كما أن زيادة انفتاحها يؤدى إلى زيادة معدل النتح بدرجة قد تسبب ذبول النبات . وتدل نتائج البحوث الكثيرة التى قام بها لوفتفيلد (Loftfield) — عام ١٩٢١ — على أنه عندما تكون الثغور فى تمام انفتاحها فإن النتح يكون عبارة عن عملية بخر عادية تتأثر بالعوامل الخارجية فقط ، وهى الرطوبة والحرارة وحركة الرياح ، وتظل هذه العوامل هى المنظمة للنتح إلى أن تصل فتحات الثغور إلى نصف اتساعها أو أقل ، وعندئذ يبدأ تحكم الفتحة الثغرية فى معدل النتح ، فيقل هذا المعدل كلما ضاقت الفتحة الثغرية (شكل ٣٥٤) . ومن الواضح أنه عندما يكون النتح الثغرى خاضعاً لتغير اتساع الفتحات الثغرية فإن أقطار هذه الفتحات وليست مساحاتها — هى التى تسيطر على معدل انتشار بخار الماء خلالها .

(شكل ٣٥٤)



العلاقة بين اتساع فتحة الثغر ومعدل النتح الثغرى فى ورقة نبات القان (Birch) ، وذلك بالملليجرام لكل ٢٥ سم٢ من مساحة الورقة فى الساعة (ستوافت ١٩٣٢) .

وبديهى أن زيادة عدد الثغور فى الوحدة المربعة من مساحة الورقة يزيد من معدل النتح ، وكذلك يتأثر هذا المعدل بالطريقة التى تتوزع بها الثغور : فمثلا تسمح الثغور الموجودة على السطح العلوى للأوراق بفقد كمية من الماء أكبر مما يسمح به عدد مساو على السطح السفلى ، وذلك لأن الثغور الموجودة على السطح السفلى أقل تعرضاً للعوامل الجوية من ثغور السطح العلوى .

٢ – المحتوى المائى للخلايا النائحة: من المألوف أنه إذا غمست قطعة من ورق الترشيح فى الماء ثم عرضت للجو فإن معدل فقد الماء منها يكون عالياً فى أول الأمر نظراً لتشبعها ثم لا يلبث هذا المعدل أن يتضاءل تدريجياً نظراً لهبوط محتواها المائى . ولا يختلف ما يحدث فى خلايا الورقة عن ذلك كثيراً ، فكلما كانت مشبعة بالماء زاد معدل البخر إلى الغرف الهوائية ، وزاد تبعاً لذلك معدل النتح . ويرجع ذلك إلى أنه فى حالة التشبع التام بالماء تكون مسام ورقة الترشيح أو الجدر الخلوية ممتلئة امتلاء تاماً بخيوط شعرية مائية تتصل سطوحها الطرفية بالجو المحيط اتصالا مباشراً ، ومن ثم يكون البخر فى هذه الحالة مماثلا للبخر من سطح مائى معرض . ويستمر الحال على ذلك طالما كان المدد المائى الذى يصل إلى الورقة معادلا لما تفقده فى عملية النتح . فإذا ما ارتفع معدل النتح إلى حد أن يصبح ما تفقده خلايا النسيج الوسطى من الماء أكثر مما يصل إليها منه ، فإن المحتوى المائى لأنسجة الورقة يتناقص تدريجياً ، وتتراجع الخيوط المائية داخل المسام الدقيقة وتزداد درجة تقعر نهاياتها الطليقة ، ويزداد تبعاً لذلك توترها السطحى ، الأمر الذى يؤدى إلى بطء التبخر منها وانخفاض معدل النتح . وبديهى أن انخفاض المحتوى المائى للورقة يؤدى آخر الأمر إلى حالة ذبول ، وقد تسبب حالات الذبول الشديد ضرراً بالغاً للخلايا النباتية .

٣– التحورات النباتية التى تؤثر فى النتح: تتميز النباتات التى تنمو فى البيئة الجافة ببعض تحورات تعمل على تقليل النتح ، ومن هذه التحورات ما يأتى :

(ا) وجود الثغور غائرة تحت مستوى البشرة ، كما هو الحال فى أوراق نباتات الصنوبر والمطاط والرتم ، وهذا يؤدى إلى أن يتضاءل تأثير التفتح الثغرى فى النتح ، إذ أن الطريق الذى يسلكه بخار الماء عند انتشاره إلى الخارج يزداد طولا . وينتج عن ذلك أن يصبح التدرج الانتشارى خلال هذا الطريق أقل انحداراً منه عندما يكون قصيراً ، كما أن الهواء الذى يحيط بالفتحات الثغرية مباشرة فى حالة الثغور الغائرة – وهو الموجود بالتجاويف – يكون أكثر رطوبة من الهواء الجوى .

(ب) ترسب طبقة من الكيوتين على الجدر الخارجية لخلايا البشرة لمنع تبخر الماء منها ، وقد تترسب طبقة شمعية على سطوح الأوراق وغيرها من أعضاء النبات ، كما قد توجد شعيرات كثيفة ، وتعمل هذه التراكيب مجتمعة أو منفردة على وقاية النباتات من خطر النتح .

(ج) نقص مساحة السطح الناتح بالنسبة لحجم النبات ، فى بعض النباتات – مثل بعض أنواع الكاكتوس – تكون الأوراق صغيرة أو غير موجودة، وقد تتحور إلى أشواك ضئيلة الحجم نسبياً ، وبعض الشجيرات والأشجار الصحراوية تحمل أوراقاً فى أثناء الفصول المطيرة ولكنها تتخلص منها فى أوقات الجفاف . ويطلق على هذه التحورات اسم « التشكلات الجفافية » ، إذ يغلب وجودها فى نباتات البيئات الجافة ، وتعمل على تقليل النتح فى وقت الجفاف .

التوازن المائى فى النباتات

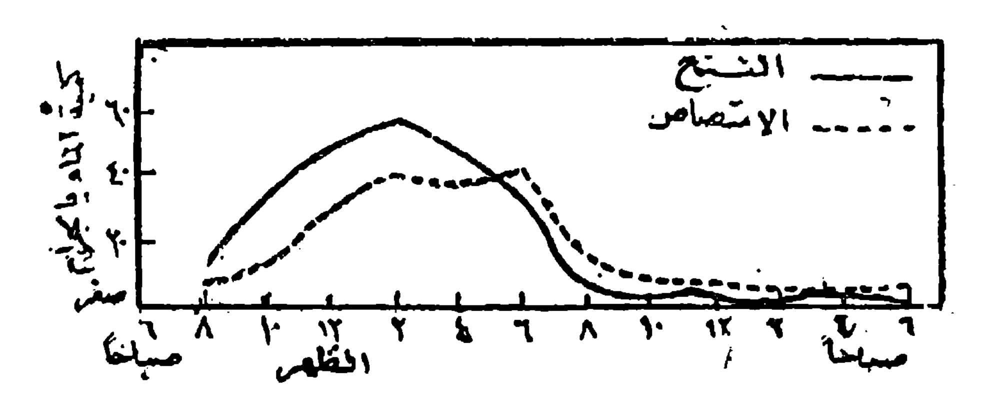
يتبين مما تقدم أن المحتوى المائى للنبات يتأثر بعاملين مهمين : أولهما امتصاص الماء من التربة ، وثانيهما فقد الماء عن طريق النتح ، ولا بد أن يكون هناك توازن بين هذين العاملين حتى لا ينقص المحتوى المائى للنبات بدرجة تضر به ، إذ لو اختل هذا التوازن بازدياد معدل النتح كثيراً عن معدل الامتصاص لذبل النبات وهلك .

وليس معنى ذلك أن يكون هذا النتح والامتصاص متناسبين تناسباً طردياً على الدوام . فقد ينتح النبات الماء بدرجة أسرع من امتصاصه له ، وعلى العكس قد يمتص النبات الماء من التربة بدرجة تفوق ما يفقد منه بالنتح. وعندما يكون فقد النبات للماء أسرع فإن المحتوى المائى للنبات بأكمله يعانى نقصاً ، ويكون هذا النقص واضحاً فى الأوقات التى تساعد على اشتداد النتح ، ففى منتصف النهار فى يوم مشمس صاف تفقد معظم النباتات أكثر مما تمتص من الماء ، وقد يصل النقص فى المحتوى المائى إذ ذاك إلى ٢٥٪ من قيمته القصوى . ومن المألوف فى هذا الوقت من اليوم أن نشاهد النباتات العشبية النامية وهى

تعانى ذبولا موقتاً ، لا يلبث أن يزول قرب آخر النهار عندما ينخفض معدل النتح ويزداد معدل الامتصاص .

ويمكن القول بوجه عام أن معدل النتح يزداد بسرعة فى الصباح ويصل إلى أقصاه بعد الظهر بقليل ، أما معدل الامتصاص فيزداد ببطء ويصل إلى درجته القصوى فى وقت متأخر) من فترة بعد الظهيرة ، وإذ ذاك يأخذ معدل النتح فى التناقص بدرجة أسرع من معدل الامتصاص ، ويستمر الامتصاص عادة أعلى من النتح طول الليل . ويوضح الشكل (٣٥٥) معدل النتح والامتصاص فى يوم كامل لنبات عباد الشمس ، ولا يختلف شكل المنحنيات كثيراً فى الأنواع المختلفة من النباتات .

(شكل ٣٥٥)



متوسط معدلى النتح والامتصاص لنبات عباد الشمس فى يوم مشمس حار من أيام الصيف (عن كرامر ، ١٩٣٢) .

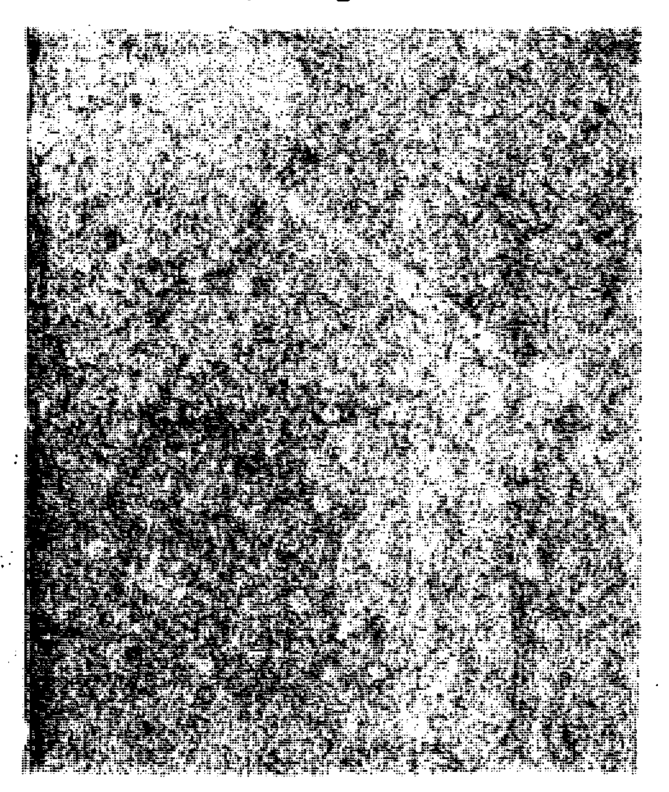
ويمكن تفسير هذه المنحنيات على النحو التالى : فى الصباح عندما تنفتح الثغور وترتفع درجة حرارة الورقة والهواء ، يزداد الفرق بين ضغط بخار الماء فى المسافات البينية والجو الخارجى ، ويزداد النتح تبعاً لذلك . أما الامتصاص فلايزداد معدله إلاحينما تصل الزيادة فى قوة الامتصاص الأزموزية الناشئة فى خلايا الأوراق — نتيجة لفقد الماء — إلى منطقة الامتصاص فى الجذور ، وهى عملية تتطلب بعض الوقت . وقرب نهاية النهار — عندما تنخفض درجة الحرارة وتنغلق الثغور — يتناقص النتح سريعاً ، ولكن

الامتصاص يستمر حتى تعود قوة الامتصاص الأزموزية لأنسجة النبات إلى حالتها الطبيعية ، وعلى ذلك فيحدث عادة بعض الامتصاص ، حتى فى الصباح المبكر ، عندما يكون النتح منعدماً تقريباً .

الإدماع

لا يقتصر فقد النبات للماء على خروجه منه فى صورة بخار أثناء عملية النتح ، بل قد يخرج كذلك على هيئة قطرات مائية يمكن رؤيتها فى الصباح الباكر عند النهايات الطرفية لأوراق بعض النباتات ، وخاصة نباتات الفصيلة النجيلية ونباتات القلقاس وأبى خنجر والكرنب والطماطم (شكل ٣٥٦) وتسمى هـــذه الظاهرة « الإدماع » (Guttation) ، وتعزى إلى الضغط الجذرى .

(شكل ٣٥٦)



الإدماع من أوراق نبات الطماطم

ويحدث الإدماع عادة عندما تكون الظروف ملائمة لامتصاص الماء بسرعة بوساطة الجذور ، ولكنها فى نفس الوقت تؤدى إلى أن يكون النتح

بطيئاً أو معدوماً . وتكثر هذه الظروف فى معظم المناطق المعتدلة عند نهاية فصل الربيع حينما تتعاقب الليالى الباردة مع نهار دافئ . ويشاهد الإدماع إذ ذاك بكثرة فى الليل وفى الساعات الأولى من الصباح الباكر ، ولذلك كان يعتقد خطأً أن قطرات الإدماع ما هى إلا ندى .

وتخرج قطرات الإدماع عن طريق أجهزة خاصة تسمى « الأجهزة الدمعية » (Hydathodes) ، ويتكون الجهاز الدمعى فى بعض النباتات من خلية بشرية متخصصة وغير متصلة بالجهاز الوعائى ، ولكنه فى بعض النباتات الأخرى يتكون من خلايا مفككة تتصل بالجهاز الوعائى ، وتفتح إلى الخارج بفتحة خاصة تسمى الثغر المائى (Water stoma) ، وهو يختلف عن الثغور العادية فى تركيبه وفى بقائه مفتوحاً على الدوام .

والقطرات الدمعية ليست ماء نقياً تماماً ، بل تحوى على الأقل آثاراً لعدد من المواد الذائبة مثل السكرات والأحماض الأمينية والأملاح المعدنية، وقد تتكون رواسب محلية عند حوافى الأوراق ، وذلك إذا تبخر ماء الإدماع بسرعة ، وفى بعض الأحيان تمتص النباتات القطرات الدمعية مرة ثانية . وعلى الرغم من أن كمية الماء التى تخرج من نباتات معظم المناطق المعتدلة — عن طريق الإدماع — قليلة عادة ، فإن بعض نباتات المناطق الاستوائية تفقد كمية كبيرة بهذه الطريقة ، فقد قدر ما تفقده ورقة صغيرة من أحد أنواع القلقاس (**Colocasia nymphaefolia**) — التى تستوطن الهند — بحوالى ١٠٠ سم٣ من الماء فى ليلة واحدة عن طريق الإدماع .

الباب الثالث والثلاثون

الإنزيمات

تتميز الخلايا الحية بقدرتها على إتمام كثير من التحولات الكيميائية ، مثل بناء مركبات معقدة من مواد بسيطة التركيب ، أو عكس ذلك من تفتيت مركبات معقدة إلى مواد أبسط تركيباً . وتجرى هذه التحولات فى الخلية فى درجات الحرارة العادية ، أما خارج الخلية فلابد لإتمامها من درجات حرارة مرتفعة ومن إضافة مواد كيميائية لا توجد فى الخلية النباتية فمن المعروف مثلاً أن النشا يتحلل بسرعة إلى سكر جلوكوز داخل أنسجة النبات ، أما فى خارجها فلكى يسير التحلل بمثل سرعته فى الخلايا النباتية يجب إضافة حامض يرفع درجة حموضة وسط التفاعل إلى درجة أعلى بكثير من درجة حموضة الخلية الحية كما يجب رفع درجة الحرارة إلى درجة لا يمكن أن تتحملها الخلية .

ولقد ثبت أن هناك مركبات عضوية معقدة تقوم بتنشيط هذه التحولات الكيميائية داخل الخلايا الحية . وأطلق على هذه المركبات لفظ « الإنزيمات » (Enzymes) ، وقد أمكن استخلاصها فأدت نفس الدور خارج الخلايا النباتية عند درجات الحرارة العادية . والإنزيمات — كغيرها من العوامل المساعدة — تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك فيها ، إذ تحتفظ بطبيعتها وكميتها فى نهاية التفاعل .

ويرجع تاريخ استكشاف الإنزيمات إلى عام ١٨٣٣ ، حين استخلصت من نخمير الشعير مادة تحلل النشا إلى سكر ، أطلق عليها اسم « دياستيز » (Diastase) ثم توالى بعد ذلك فصل عدد كبير من الإنزيمات اصطلح عند تسميتها على إضافة المقطع « يز » (ase) إلى نهاية اسم مادة التفاعل . فمثلا الإنزيم الذى يحلل المولتوز إلى جلوكوز أطلق عليه اسم « المولتيز » وهكذا .

أما ما سبق استكشافه من الإنزيمات قبل اتباع هذه القاعدة فقد أطلقت عليها أسماء لا تسير وفق نظام خاص مثل الببسين والتربسين .

وتوجد الإنزيمات فى كل الكائنات الحية ، أما منطلقة فى السيتوبلازم ، أو مرتبطة بطريقة ما مع عضيات الخلية كالميتوكوندريات ، كما أنها توجد كذلك فى العصير الخلوى .

طبيعة الإنـــزيم النقى : تتميز كل الإنزيمات التى أمكن استخلاصها بخواص بروتينية ، وعلى ذلك أمكن اعتبارها مركبات بروتينية ، وقد يتكون الإنزيم بكليته من البروتين مثل إنزيم « الأميليز » (Amylase) الذى يحلل النشا ، إلا أن معظم الإنزيمات تتكون من جزءين وثيقى الارتباط أحدهما بروتينى والآخر غير بروتينى يطلق عليه اسم المجموعة الفعالة (Active or Prosthetic group) ومن أمثلة هذه الإنزيمات تلك التى تحتوى على فلز معين يكون بمثابة المنشط لفعلها ، إذ يعتقد أنه يساعد على أرتباط مادة التفاعل بالإنزيم . ومن الفلزات المعروفة بفعلها المنشط للانزيمات : النحاس ، والحديد ، والماغنيسيوم ، والمنجنيز ، والزنك ، والكالسيوم ، والبوتاسيوم والكوبلت .

وفى كثير من الأحيان يكون ارتباط الجزء غير البروتينى للإنزيم بجزئه البروتينى غير وثيق . وفى هذه الحالة يطلق على الجزء غير البروتينى «المرافق الإنزيمى » (Co-enzyme) وعلى الجزء البروتينى « الإنزيم المجرد » (Apo-enzyme) . وقـــد أمكن بوساطة الفصل الغشائى فصل إنزيم معقد الزيميز إلى غروى يتلف عند درجة ٥٠°م اعتبر أنه الزيميز المجرد ، وجزء بللورى يتحمل درجة حرارة ١٠٠°م اعتبره هاردن وينج (Hardan and Young) سنة ١٩٠٤ المرافق الزيميزى (Cozymase) أو المرافق الانزيمى-١- (Coenzyme I) ، وقد تبين أن هذا المرافق مركب عضوى يحتوى على الفوسفات . ومن الواضح أن فصل إنزيم معقد الزيميز إلى جزءيه يؤدى إلى وقف نشاطه تماما .

وقد اتضح فيما بعد أن المرافق الزيميزى يعمل مرافقاً لمجموعة من

الدهيدروجينيزات ولذلك سمى مرافق الدهيدروجينيز (Co-dehydrogenase) وبعزل هذا المرافق وتحليله تبين أن عبارة عن نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد ويرمز له بالرمز « ناث » (Nicotinamide adenine dinucleotide - NAD) ويحتوى معقد الزيمز مرافقاً إنزيمياً آخر أطلق عليه المرافق الإنزيمى ١-٢- وهو يماثل المرافق الأنزيمى السابق إلا أن جزيئه يحتوى على ثلاث مجموعات فوسفات ويعرف باسم نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى ويرمز له بالرمز « ن اث فو » (Nicotinamide adenine dinucleotide, phosphate, NADP) . وهناك مرافقات انزيمية أخرى مثل مرافق الكاربوكسيليز (Co-carboxylase) وهو عبارة عن بيروفوسفات الثيامين (فيتامين ب ١) ، ومرافق الانزيم ا (CoA) ، والفلافين أحادى النيوكليوتيد (FMN) والفلافين أدينين ثنائى النيوكليويتد (FAD) . وتعمل هذه المرافقات الانزيمية كمانحة أو مستقبلة للذرات أو المجموعات الذرية التى تضاف إلى مادة التفاعل أو تنزع منها ، ومعظمها له دور بالغ الأهمية فى عمليات التأكسد والاختزال. وتتركب معظم المرافقات من فيتامينات يتم بناؤها فى النبات وليس فى الخلايا الحيوانية .

وهناك مرافقات إنزيمية أخرى كثيرة منها أدينوسين ثنائى الفوسفات ويرمز له بالرمز « أدين ٢ فو » (Adenosine diphosphate, ADP) وأدينوسين ثلاثى الفسوسفات ويرمز له بالرمز « أدين ٣ فو » (Adenosine triphosphate, ATP) ويعمل الأول كمستقبل لمجموعة من الفوسفات بينما يعمل الثانى كمانح لها .

والإنزيمات المستخلصة ذوات أوزان جزيئية عالية ، فالوزن الجزيئى لإنزيم الكاتاليز مثلا يبلغ ٢٤٨,٠٠٠ ، وقد أمكن تقدير هذه الأوزان بقياس معدل انتشار الإنزيمات ومقارنته بمعدل انتشار مادة معلومة الوزن الجزيئى .

طبيعة عمل الإنزيم : من المعروف فى كل التفاعلات الكيميائية أن المواد المتفاعلة لابد أن تنشط قبل أن تدخل التفاعل ، ويتطلب هذا التنشيط قدرا من الطاقة يطلق عليه اسم « طاقة التنشيط » وعمل الإنزيم — أو عمل أى عامل

مساعد آخر — هو إتمام التفاعل بأقل كمية ممكنة من الطاقة وحين تقل كمية طاقة التنشيط اللازمة للجزىء ، فإن عدداً أكبر من الجزيئات ينشط ويدخل فى التفاعل الذى تزداد بذلك سرعته . ويبين (الجدول ٢٣) الفرق بين طاقة التنشيط اللازمة فى غياب الإنزيم وفى وجوده .

جدول (٢٣)

تأثير الإنزيمات على طاقة التنشيط

التفاعل	طاقة التنشيط (بالسعر لكل جزىء)		الإنزيم
	فى غياب الانزيم	فى وجود الانزيم	
تفكك يد٢ أ٢	١٨٠٠٠	٥٥٠٠	الكاتاليز
تحلل السكروز	٢٦٠٠٠	١١٥٠٠	سكريز الخميرة
تحلل الكازيين	٢٠٦٠٠	١٢٠٠٠	التربسين

وهناك رأيان بالنسبة لطبيعة عمل الانزيم وتنشيطه للعمليات الكيميائية : أحدهما يعتبر أن الأنزيم — نظراً لطبيعته الغروية — يجذب المواد المتفاعلة إلى سطحه بخاصة التجمع السطحى ، وبذلك يصبح الاتصال بينها ميسوراً ومن ثم يسهل سير التفاعل ، أما الرأى الآخر فيعتبر أن الانزيم يدخل مع مادة تفاعله فى اتحاد كيميائى مكوناً مركباً موقتاً ، ينشط بكمية ضئيلة من الطاقة إذا ما قورنت بالطاقة اللازمة لتنشيط مادة التفاعل نفسها فى غياب الإنزيم وبعد ذلك يتحلل هذا المركب الموقت إلى نواتج التفاعل . وينطلق الإنزيم ليعيد نفس الدورة مع جزء جديد من مادة تفاعله . ويمكن تمثيل التفاعل الإنزيمى كما يلى :

الإنزيم + مادة التفاعل ⇄ مركب موقت ⟵ نواتج التفاعل + الإنزيم

ويبدو أن الرأى الأخير أكثر رجاحه من سابقه ، إذ أمكن بوساطته شرح كثير من التفاعلات الإنزيمية . ففى بعض الأحيان — وخاصة عندما تكون جزيئات مادة التفاعل كبيرة — يتجمع عدد قليل منها على سطح جزىء

الإنزيم . وعلى ذلك لا يمكن أن يعزى فعل الإنزيم فى تنشيط مادة التفاعل إلى خاصة التجمع السطحى .

تخصص الإنزيمات : تتميز الإنزيمات عن غيرها من العوامل المساعدة بالتخصص فى عملها ، بمعنى أن كل إنزيم يساعد تفاعلا خاصاً أو عدة تفاعلات كيميائية متشابهة ويطلق على النـــوع الأول تخصص مطلق (Absolute specificity) ، ومن أمثلته إنزيم اليوريز (Urease) الذى يحلل اليوريا إلى نوشادر وثانى أكسيد الكربون ، وإنزيم الكاتالز (Catalase) الذى يفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى ماء وأكسيجين ، وكلا الإنزيمين لايساعد أى تفاعل آخر ، غير أن هذا النوع من التخصص العالى قليل الوجود إذ أن من المألوف أن يشمل تأثير الإنزيم مجموعة من المواد تحتوى على رابطة كيميائية معينة ، ويطلق على التخصص فى هذه الحالة اسم « تخصص مجموعة » (Group specificity) .

وقد يتطلب الإنزيم أن تكون الرابطة — وكذلك أحد شقى جزىء مادة تفاعله — من النوع الذى يمكن أن يؤثر فيه ، فإنزيم الإنفرتيز (Invertase) يحلل السكروز (سكر القصب) إلى شقيه الجلوكوز والفركتوز ، ولكنه لايحلل السكرات الثنائية الأخرى رغم أنها جميعاً تشترك مع السكروز فى الرمز الجزيئى (ك$_{١٢}$ يد$_{٢٢}$ أ$_{١١}$) .

وقد لايتطلب الإنزيم فى مادة تفاعله غير توافر الرابطة التى يؤثر فيها ؛ فإنزيم الليبيز (Lipase) مثلا يحلل رابطة الإستر فى الدهون والإسترات البسيطة ، بغض النظر عن طبيعة الحمض والكحول اللذين يكونان هذه الرابطة وهذا النوع من التخصص منخفض الدرجة وهو قليل الوجود .

مما سبق يتضح أن التخصص الإنزيمى يرجع إلى تركيب خاص فى مادة التفاعل يطابق تركيب الإنزيم ، وقد شبهت تلك العلاقة بالتطابق بين القفل ومفتاحه ، وقد ترتب على هذا التخصص الإنزيمى وجود عدد كبير يقدر بعدة مئات فى كل خلية ، وذلك للقيام بالتحولات الكيميائية الكثيرة التى تحدث فيها .

الفعل العكسى للإنزيمات : الإنزيمات — ككل العوامل المساعدة — تساعد التفاعل العكسى كما تساعد التفاعل الطردى . وعلى الرغم من أن ذلك لم يثبت بالتجربة إلا بالنسبة لعدد قليل من الإنزيمات فليس هناك — ولو على الأقل من الوجهة النظرية — ما يدحض هذا الاعتقاد . أى أن الإنزيمات المحللة ليست عوامل تحليل فحسب بل إنها عوامل بناء أيضاً . فإنزيم الليبيز (Lipase) — مثلا — لايساعد على تحلل الدهون الى أحماض دهنية وجليسرين فحسب ، بل يعمل أيضاً على بناء هذه المواد من نواتج تحللها ، ويتوقف الاتجاه الذى يسير فيه التفاعل على مدى تركيز المواد المتفاعلة .

العوامل التى تؤثر فى النشاط الإنزيمى : يتأثر النشاط الإنزيمى كثيراً بالحرارة فيزداد بارتفاعها ويتضاءل بانخفاضها وقد وجد أن سرعة التفاعل الإنزيمى تتضاعف عند كل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره ١٠°م، وذلك فى مجال حرارى دون درجة حرارة ٥٠°م . وتتلف كل الإنزيمات عند درجة حرارة ١٠٠°م . وفى درجات الحرارة المنخفضة تفقد الإنزيمات نشاطها ، غير أنها تستعيد هذا النشاط فى المجال الحرارى المعتدل . ولكل إنزيم درجة حرارة مثلى يبلغ نشاطه عندها أقصى مداه . وتختلف هذه الدرجة من إنزيم لآخر ، وتقع عادة بين درجتى حرارة ٤٠° و ٥٠°م .

ويعتبر تركيز أيون الأيدروجين من العوامل الهامة التى تؤثر فى النشاط الإنزيمى ، ولكل إنزيم رقم إيدروجينى معين يبلغ عنده أقصى نشاطه ، فإنزيم البيبسين مثلا يلائمه رقم إيدروجينى منخفض (بين ١,٥ و ٢,٥) ، وإنزيم الليبيز يناسبه وسط أقل حامضية (بين ٤ و ٥) ، أما إنزيم التربسين فيلائمه الوسط القاعدى (٧,٨) .

كذلك يتأثر النشاط الإنزيمى بدرجة تركيز الإنزيم ومادة تفاعله ، وإن كانت تلك العلاقة ليست بسيطة . ففى بدء التفاعل يتناسب معدل النشاط تناسباً طردياً مع تركيز الإنزيم ، وبعد أن تبدأ مادة التفاعل فى الاختفاء ينخفض المعدل لتناقص تركيز مادة التفاعل من جهة وتراكم نواتج تحللها من جهة أخرى .

وبعض المواد يعطل وجودها النشاط الإنزيمي وقد يوقفه تماماً ، وتعرف هذه المواد بالمثبطات ، ومن أمثلتها أملاح الفلزات الثقيلة التي تثبط نشاط الكثير من الإنزيمات مثل الإنفرتين واليوريز ، وكذلك السيانور وأول أكسيد الكربون اللذان يوقفان نشاط إنزيمات التأكسد المحتوية على الحديد والنحاس ، فعلى سبيل المثال يثبط السيانور – بتركيز ١٫٠٠٠١ جزيئي – كثيراً من إنزيمات التنفس .

وبعض المثبطات تتشابه تركيبياً مع مادة التفاعل ، بحيث لا يستطيع الإنزيم أن يميز بينهما ، ولذلك فهي تتحد معه دون أن تتفاعل ، ويكون التثبيط في هذه الحالة قابلا للانعكاس أو المنافسة ، وذلك بزيادة تركيز مادة التفاعل ، ويعرف مثل هذا الطراز من التثبيط باسم « الإعاقة التنافسية » (Competitive inhibition) .

وفي بعض الأحيان يرتبط المثبط بالإنزيم في موقع آخر غير ذلك المخصص لمادة التفاعل ، ومن ثم يتغير هيكل الإنزيم بصورة تفقده فعاليته ويكون التثبيط في هذه الحالة غير قابل للانعكاس ، أي لا يمكن التغلب عليه أو منافسته ، ويعرف هذا الطراز من التثبيط باسم « الإعاقة اللاتنافسية » (Non-competitive inhibition) .

وعلى العكس يزداد نشاط بعض الإنزيمات عند إضافة مواد معينة — تعرف بالمنشطات — إلى وسط تفاعلها . فمثلا ينشط حمض الإيدروسيانيك وكبريتيد الإيدروجين بعض الإنزيمات المحللة للبروتين .

تقسيم الإنزيمات : لما كان التركيب الكيميائي للإنزيمات غير معلوم على وجه التحديد فقد أصبح من العسير تقسيمها على أساس تركيبها ، ولذلك فقد بني تقسيمها على حسب طبيعة التفاعلات التي تساعدها .

وقد اقترح الاتحاد الدولي للكيمياء الحيوية (عام ١٩٦١) تقسيم الإنزيمات إلى المجموعات الست الرئيسية الآتية :

١ — إنزيمات التأكسد والاختزال (Oxidoreductases) .

٢ — إنزيمات ناقلة (Transferases) .

٣ — انزيمات التميؤ أو « التحليل المائى » (Hydrolases) .

٤ — انزيمات الإضافة (Lyases) .

٥ — إنزيمات التشابه (Isomerases) .

٦ — انزيمات البناء (Ligases, or Synthetases) .

إنزيمات التأكسد والاختزال

(Oxidoreductases)

يتم فى الخلايا الحية عدد من عمليات التأكسد والاختزال ينتج عنها انطلاق طاقة . وتعد عمليتا التأكسد والاختزال من العمليات المتضادة والمتلازمة ، إذ أن من المعروف أن أكسدة مادة ما يصاحبها فى نفس الوقت اختزال مادة أخرى ، ففى عمليات التنفس العادية تتأكسد الدهون والكربوإيدراتات والبروتينات ويختزل الأكسجين الجوى .

ويتم تأكسد المادة إما بإضافة الأكسجين إليها كتأكسد أول أكسيد الكربون إلى ثانى أكسيد الكربون ، وإما بنزع الإيدروجين منها كتأكسد كبريتيد الإيدروجين إلى عنصر الكبريت ، وإما بفقدها إلكترونا أو أكثر كما يحدث عند تأكسد الحديدوز إلى حديديك .

ح++ ← ح+++ + الكترون

وتأكسد المواد العضوية فى أثناء العمليات الحيوية — كالتنفس — يتم غالباً بنزع الإيدروجين ، وهناك رأيان لتفسير هذه الأكسدة الفسيولوجية ، ينطوى أحدهما على تنشيط الأكسجين الجزيئى الذى ينتقل إليه إيدروجين مادة التفاعل ، وينطوى الآخر على تنشيط إيدروجين مادة التفاعل ثم انتزاعه منها حيث تستقبله مادة أخرى له . وقد وجدت فى الخلايا الحية إنزيمات مؤكسدة ، بعضها ينشط الأكسجين ويطلق عليها إسم « الأكسيديزات » (Oxidases)

بعضها الآخر ينشط الإيدروجين ويطلق عليها إسم « الديهيدروجينيزات (Dehydrogenases .

وتوجد بالإضافة إلى هاتين المجموعتين إنزيمات مؤكسدة أخرى واسعة لانتشار فى خلايا النبات هى البيروكسيديزات (Peroxidases) ، التى تقوم عمليات الأكسدة فى وجود فوق أكسيد الإيدروجين أو أى فوق أكسيد خر ، والكاتاليز (Catalase) الذى يفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى الماء الأكسيجين .

وعلى ذلك فيمكن تقسيم الإنزيمات المؤكسدة فى النباتات إلى الأكسيديزات البروكسيديزات والكاتاليز والديهيدروجينيزات .

الأكسيديزات : هى مجموعة الإنزيمات التى تساعد على أكسدة كثير من لمواد المختزلة ، وذلك بتنشيطها لأكسيجين الهواء الجوى بحيث تجعله قابلا لاتحاد بإيدروجين مادة التفاعل ، وفى هذه الحالة يختزل الأكسيجين إلى فوق كسيد الإيدروجين أو الماء ، وأهم هذه الإنزيمات هى : أكسيديزات فينول — أكسيديز الكاتيكول وأكسيديز عديد الفينول والتيروسينيز Cataechol oxidase, Polyphenol oxidase & Tyrosinase) — وأكسيديز سيتوكروم (Cytochrome oxidase) .

أكسيديزات الفينول : وسنعالجها هنا كمجموعة واحدة ، وهى توجد فى سجة كثير من النباتات ، وتساعد على تأكسد عدد كبير من المواد الفينولية كالجواياكم (Guaiacum) والكاتيكول (Catechol) والبيروجالول (Pyrogallo) والتيروسين ، وفى كل حالة يتكون الأورثوكينون (Orthoquinon) المقابل ، والتفاعل التالى يمثل تأثير التيروسينيز على كاتيكول :

أ يد ، أ يد + ½ أ٢ ⟵ التيروسينيز ⟵ أ = ، = أ + يد٢ أ

(الكاتيكول) (أورثوكينون)

وتتجمع نواتج الأكسدة عادة مكونة مركبات داكنة اللون ، حمراء أو بنية أو سوداء ، يعزى إليها تغير لون البطاطس والتفاح وغيرهما من الأنسجة النباتية عند تعرضها للجو .

وإذا وضعت نقطة من المحلول الكحولى لصمغ الجواياكم على نسيج نباتى معرض للجو — ويحتوى هذا الإنزيم — ظهر اللون الأزرق الناتج من تأكسد الجو اياكم مباشرة .

وقد أمكن استخلاص أكسيديزات الفينول من درنات البطاطس وبعض أنواع فطرة عيش الغراب وغيرهما من الأنسجة النباتية والحيوانية ، وتبين أنها مركبات بروتينية تحتوى على نسبة من النحاس لاتقل عن ٠٫٣٪ ، ويبطل عملها فى وجود مركبات السيانيد وأول أكسيد الكربون .

أكسيديز السيتوكروم : يعد أوسع الأكسيديزات انتشاراً ، إذ يوجد فى أنسجة عدد من النباتات وكثير من الحيوانات ، ويختص بأكسدة السيتوكروم المختزل فى وجود الأكسيجين الجوى ، حيث يتحد الأكسيجين مع أيونات الإيدروجين فى السيتوكروم المختزل مكونا الماء ، وينطلق السيتوكروم فى حالته المؤكسدة كما يتضح من المعادلة الآتية :

سيتوكروم . يد٢ + ½ أ٢ ⟵ (أكسيديز / السيتوكروم) سيتوكروم + يد٢ أ

والسيتوكروم المشار إليه هو أحد أفراد مجموعة المواد التى تحتوى على الحديد ، وتوجد على نطاق واسع فى خلايا النبات والحيوان ، وقد أمكن استخلاص عدد من مركبات السيتوكروم تقوم بدور كبير فى عمليات التأكسد والاختزال ، فهى تنقل الإيدروجين من بعض المركبات إلى الأكسيجين الجوى فى وجود أكسيديز السيتوكروم .

وأكسيديز السيتوكروم يحتوى على الحديد فى مراكزه الفعالة ، ولذلك يبطل نشاطه فى وجود مركبات السيانيد والكبريتيد والأزايد وكذلك أول أكسيد الكربون ، وإن كان تأثير الأخير يزول فى الضوء الأزرق ، وهو فى هذا يختلف عن أكسيديزات الفينول .

البيروكسيديز : يعمل هذا الانزيم على أكسدة عدد من المواد الفينولية فى وجود فوق أكسيد الإيدروجين وربما أى فوق أكسيد آخر . والمعتقد أنه يساعد على تفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى الماء والأكسيجين النشط الذى يستطيع أن يؤكسد المواد الفينولية مثل الجواياكم والكاتيكول . وعند إضافة محلول الجواياكم إلى مستخلص البيروكسيديز لا يحدث أى تغير فى اللون ، فإذا ما أضيف إلى المخلوط فوق أكسيد الإيدروجين ظهر اللون الأزرق الدال على تأكسد الجواياكم .

والبيروكسيديز شائع الوجود فى كل خلايا النبات تقريباً ، وتحتوى جذور الفجل ويتوع أشجار التين تركيزات عالية منه ، وقد حضر فى حالة نقية من جذور نبات « فجل الحصان » (Horse-radish) ، واتضح أنه يحتوى على الحديد فى مراكزه الفعالة ، ولذلك يبطل نشاطه فى وجود مركبات السيانيد والكبريتيد .

الكاتاليز : هذا الإنزيم كالبيروكسيديز شائع الوجود فى أنسجة الكائنات الحية ، ويقتصر فعله على تفكيك فوق أكسيد الإيدروجين — الزائد عن استهلاك البيروكسيديز — إلى الماء والأكسيجين الجزيئى .

$$٢\ يد_٢أ_٢ \xrightarrow{(كاتاليز)} ٢\ يد_٢أ + أ_٢$$

والدور الذى يقوم به الكاتاليز فى النبات غير واضح ، وإن كان المعتقد أنه يحول دون تراكم فوق أكسيد الإيدروجين الناتج عن عمليات التنفس فى الأنسجة إلى القدر الذى يسبب تسمم الخلايا وموتها . والكاتاليز مركب بروتينى يحتوى على الحديد ويبطل نشاطه فى وجود مركبات الكبريتيد والسيانيد والأزايد .

الديهيدروجينيزات : هى مجموعة الإنزيمات التى تساعد عمليات التأكسد والاختزال بتنشيط إيدروجين مركب ونقله إلى مركب آخر ، وتستطيع بعض الديهيدروجينيزات نقل إيدروجين مادة التأكسد إلى الأكسيجين مباشرة ؛

وهى تشبه فى ذلك الأكسيديزات ، ويطلق عليها « دىهيدروجينيزات هوائية » غير أن معظم دىهيدروجينيزات النبات لاهوائية ، أى أنها تنقل إيدروجين مادة التفاعل إلى مركبات أخرى غير الأكسيجين . والفرق بين الأكسيديزات والدىهيدروجينيزات الهوائية هو أن الأخيرة تنقل إيدروجين المادة المؤكسدة إلى الأكسيجين أو غيره من المواد أما الأكسيديزات فلا تعمل إلا فى وجود الأكسيجين .

ويلزم لكى تؤدى الدىهيدروجينيزات عملها أن توجد فى وسط تفاعلها مادتان ، إحداهما تتأكسد بنزع إيدروجينها والأخرى تختزل فى نفس الوقت باستقبالها لهذا الإيدروجين ، وقد أطلق على الأولى مانحة الإيدروجين (Hydrogen donor) وعلىالثانية مستقبلة الإيدروجين (Hydrogen acceptor).

ومن الدىهيدروجينيزات المعروفة إنزيم شاردنجر (Schardinger enzyme) الموجود فى اللبن ، ويساعد هذا الإنزيم على تأكسد الفورمالدهيد إلى حمض الفورميك فى وجود أزرق الميثيلين ، الذى يختزل بدوره ويتحول إلى أزرق الميثيلين عديم اللون كما يلى :

يد ك يد ا + بد$_٢$ا + ا م ← يد ك ا ا يد + ا م . يد$_٢$

فورمالدهيد   أزرق ميثلين   حمض الفورميك   أزرق ميثيلين مختزل (عديم اللون)

ومانح الإيدروجين فى هذا التفاعل هو مركب يتكون أولا من اتحاد جزىء من الماء مع جزىء من الألدهيد ، ويسمى إيدرات الفورمالدهيد ، ويجب لكى يتضح هذا التفاعل فى المعمل أن يتم فى ظروف لاهوائية ، إذ أن أزرق الميثلين المختزل يتأكسد مباشرة بأكسيجين الهواء الجوى .

وقد عرف فى الأنسجة النباتية عدد من الدىهيدروجينيزات تقوم بأكسدة الكحول الإيثيلى والجلوكوز وبعض الأحماض العضوية ، كأحماض الماليك والستريك والأوكساليك والسكسينيك والجلوتاميك ، وجميعها دىهيدروجينيزات لاهوائية ويسمى الإنزيم عادة باسم المادة المانحة للإيدروجين ، فيطلق مثلا

على الإنزيم الذى ينزع الإيدروجين من الكحول الإيثيلى ويحوله إلى أسيتالدهيد اسم « دهيدروجينيز الكحول » وهكذا .

وأزرق الميثيلين الذى يستقبل الإيدروجين فى التفاعل السابق لاوجود له فى الخلايا الحية ، ولذلك تقوم بدوره مواد أخرى من أهمها مركب السيتوكروم الذى سبقت الإشارة إليه . ففى تفاعلات بعض الدهيدروجينيزات — كدهيدروجينيز السكسينيك (Succinic dehydrogenase) — يعمل السيتوكروم كمستقبل للإيدروجين ويتحول إلى السيتوكروم المختزل ، ثم يتأكسد الأخير ويعود إلى حالته الأصلية فى وجود أكسيديز السيتوكروم ، وتوضح الخطوات الآتية التفاعل :

ك يد٢ – ك ا ا يد ــــــــ ك يد – ك ا ا يد

| + سيتوكروم ⇌ (دهيدروجينيز السكسينيك) || + سيتوكروم . يد٢

ك يد٢ – ك ا ا يد ــــــــ ك يد – ك ا ا يد

(حمض السكسينيك) ــــــــ (حمض الفيوماريك)

سيتوكروم . يد٢ + ½ ا٢ ← (أكسيديز السيتوكروم) سيتوكروم + يد٢ا

ويمكن أن يحل أزرق الميثيلين محل السيتوكروم كمستقبل للإيدروجين .

ويرتبط الكثير من الدهيدروجينيزات فى عملها بمركبات أخرى غير السيتوكروم ، أهمها « نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد » (Nicotinamide adenine dinucleotide) و « نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى» (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ويعمل الأول مرافقاً إنزيمياً لكل من دهيدروجينيز الكحول ودهيدروجينيز الماليك ، ويعمل الثانى مع دهيدروجينيز الأيسوستريك (Isocitric dehydrogenase) ، أما دهيدروجينيز الجلوتاميك فيؤدى عمله فى وجود أى من المرافقين . وحلقة البيريدين هى المجموعة الفعالة فى كل من المرافقين الإنزيميين ، وهى تتأكسد أو تختزل بفقد أو اكتساب ذرتين من الإيدروجين على التوالى .

ويوضح التفاعل الآتى تأكسد حمض الماليك إلى حمض الأوكسالوخليك وهو من عمليات الأكسدة الهامة فى المرحلة الهوائية للتنفس كما سيأتى بعد :

ك ا ا يد		ك ا ا يد
|		|
ك يد . ا يد + ن ا ث	دهيدروجينيز ⇄ ماليك مجرد	ك : ا + ن ا ث . يد٢
|		|
ك يد٢		ك يد٢
|		|
ك ا ا يد		ك ا ا يد
(حمض ماليك)		(حمض أوكسالوخليك)

وهناك مجموعة ثالثة من الدهيدروجينيزات تنقل الإيدروجين إلى الرايبوفلافين (Riboflavin) الذى يكون جزءاً من مراكزها الفعالة . ويطلق على هذه المجموعة « الفلافوبروتينات » (Flavoproteins) ومن أمثلتها إنزيم شاردنجر الذى سبقت الإشارة إليه . وتختص بعض إنزيمات هذه المجموعة بأكسدة المرافقات الإنزيمية المختزلة بوساطة القسم الثانى من الدهيدروجينيزات وذلك كما يلى :

مرافق إنزيمى . يد٢ + فلافوبروتين ⇄ مرافق إنزيمى+فلافوبروتين مختزل

وتتأكسد بعض دهيدروجينيزات هذه المجموعة بالأكسيجين مباشرة ، ولذلك يطلق عليها اسم الدهيدروجينيزات الهوائية ، أما بعضها الآخر فيتأكسد بالسيتوكروم كما يلى :

فلافوبروتين مختزل + سيتوكروم ⇄ فلافوبروتين + سيتوكروم. يد٢

ويتأثر نشاط الدهيدروجينيزات كلياً أو جزئياً بفعل عدد من المثبطات العضوية ، نذكر منها حمض المالونيك (Malonic acid) الذى يوقف نشاط دهيدروجينيزات السكسينيك ، والأيودوخلات (Iodoacetate) التى

تبطل فعل ديهيدروجينيز الكحول. وبعض المثبطات – كاليوريثين (Urethane)– لها تأثير مثبط على نشاط كل الديهيدروجينيزات تقريباً .

الإنزيمات الناقلة
(Transferases)

وتضم هذه المجموعة الإنزيمات التى تساعد نقل مجموعة أو شق من جزىء مادة عضوية إلى جزىء مادة أخرى . ويتضمن ذلك نقل أزواج من ذرات الإيدروجين ، ومجموعات الأمين والأسيتيل والميثيل (الخلات) وشق الفوسفات والجليكوسيل ، ومن أمثلة هذه المجموعة الإنزيمات التالية :

(أ) إنزيمات تساعد نقل مجموعة الأمين (ن يد٢) من حمض أمينى إلى حمض ألفاكيتو وينتج الحمض الأمينى المقابل لحمض الألفاكيتو والحمض الألفاكيتو المقابل للحمض الأمينى ، وتعرف هذه المجموعة بالترانس أمينيزات (Transaminases) ، ومن أمثلتها ترانس أمينيز الجلوتاميك (Glutamic tranaminase) ، ويمكن تمثيل تفاعلات هذه المجموعة بالمعادلة العامة الآتية :

ر		رَ		ر		رَ
|		|	ترانس	|		|
ك يد . ن يد٢	+	ك = ا	⟶ ⟵	ك = ا	+	ك يد . ن يد٢
|		|	أمينيز	|		|
ك ا ا يد		ك ا ا يد		ك ا ا يد		ك اا يد
حمض أمينى		حمض ألفاكيتو		حمض الألفاكيتو المقابل للحمض الأمينى		الحمض الأمينى المقابل لحمض الألفاكيتو

(ب) إنزيمات تساعد على نقل شق الفوسفات من مركب إلى مركب آخر وتعرف بالفوسفوكينيزات (Phosphokinases) ، ويرتبط نشاط هذه الإنزيمات بالمرافقات الإنزيمية أدينوسين ثنائى الفوسفات (أدين –٢– فو) وأدينوسين ثلاثى الفوسفات (أدين –٣– فو) . ويمثل التفاعل التالى عينة من نشاط هذه المجموعة :

جلوكوز+أدين-٣ - فو $\underset{\longleftarrow}{\overset{\text{هكسوكينيز}}{\longrightarrow}}$ جلوكوز-٦- فوسفات+ أدين-٢-فو

جـ - إنزيمات تساعد نقل شق الجليكوسيل (Glycosyl radical) من مركب إلى مركب آخر ، وعادة ما تكون المادة الرئيسية هي يوريدين ثنائي الفوسفات الجلوكوزى (UDPG) ، ومن أمثلة هذه الأنزيمات سينثيتيز السكروز (Sucrose synthetase) الذى يساعد التفاعل التالى :

UDPG + فركتوز - ٦ - فوسفات $\underset{\text{السكروز}}{\overset{\text{سينثيتيز}}{\rightleftarrows}}$ فوسفات السكروز+UDP

ويتحلل فوسفات السكروز مائيا بواسطة إنزيم الفوسفاتيز ليعطى السكروز والفوسفات غير العضوية .

ومن أمثلتها أيضا ترانس جليكوزيليز يوريدين لثنائى الفوسفات الجلوكوزى (UDPG transglycosylase) الذى يساعد التفاعل التالى :

UDPG + مستقبل $\underset{\text{ترانس جليكوزيليز}}{\overset{\text{UDPG}}{\rightleftarrows}}$ UDP + الفا جلوكوسيل المستقبل

ويتكون هذا المستقبل من جزئ بادئ يحتوى على عدد من وحدات الجلوكوز مرتبطة بروابط الفا ١- ٤ .

إنزيمات التميؤ أو التحليل المائى
(Hydrolases)

تنقسم هذه المجموعة إلى إنزيمات تؤثر على المواد الكربوإيدراتية ، ويطلق عليها الكربوإيدريزات (Carbohydrases) ، وإنزيمات تساعد التحليل المائى للمواد المحتوية على رابطة الإستر كالدهن والإسترات البسيطة وتعرف بالإستريزات (Esterases) ، وإنزيمات تعمل على تحليل المواد التى تحتوى على رابطة الببتيد (Peptide-linkage) « ك ا - ن يد » وتعرف بالإنزيمات البروتيوليتية (Proteolytic enzymes) ، وأخيراً إنزيمات تساعد التحليل المائى للمواد التى تحتوى على الرابطة (ك - ن) كالأميدات والأحماض الأمينية . وينطلق من معظم تفاعلات هذه الإنزيمات - التى يطلق عليها دى أمينيزات ودى أميديزات (Deaminases and deamidases) - النشادر .

ويتضمن (جدول ٢٤) أهم إنزيمات التحليل المائى ومواد تفاعلها ونواتج هذه التفاعلات :

جدول رقم (٢٤)

بعض إنزيمات التحليل المائى فى النبات

القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(أ) الكربوايدرات	**أولا :**		
	إنزيمات عديدة التسكر		
	الأميليز (١)	النشا (ك٦ يد١٠ أ٥)ن	دكسترينات + مولتوز
	السليوليز	السليلوز	سلوبيوز
	الإنيوليز	الإنيولين	فركتوز
	السيتيز	الهيميسليلوز	جلوكوز +سكرات أخرى
	البكتينيز	المواد البكتية	جالاكتوز + حمض اليورنيك
	ثانياً :		
	الجليكوسيديزات		
	المولتيز	المولتوز (ك١٢ يد٢٢ أ١١)	جلوكوز (ألفا)
	السكريز (الإنفرتيز)	السكروز (ك١٢ يد٢٢ أ١١)	فركتوز + جلوكوز
	اللاكتيز	اللاكتوز (ك١٢ يد٢٢ أ١١)	جالاكتوز + جلوكوز
	السيلوبييز	السلوبيوز (ك١٢ يد٢٢ أ١١)	جلوكوز (بيتا)
	الإمالسين	بيتا جليكوسيدات (كالأميجدالين)	جلوكوز + مواد غير سكرية

(١) يوجد فى النباتات نوعان من الأميليز هما الفا اميليز وبيتا أميليز، والأول يحلل النشا الى دكسرينات أما الثانى فيحللها الى المولتوز والدكسترينات . وقد تستعمل كلمة « الدياستيز » بدلا من الأميليز ، الا انها فى الحقيقة تدل على خليط من الانزيمات هى الأميليز والدكسترينيز والمولتيز ، وهى فى مجموعها تحلل النشا الى جلوكوز . والأميليز المستخلص من فطرة الاسبرجيللس والمعروف باسم « تاكادياستيز » (Taka diastase) يحتوى على هذه المجموعة من الانزيمات .

بعض إنزيمات التحليل المائى فى النبات (تابع)

القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(ب) الإسترازات	الليبيز	الدهون	أحماض دهنية+جلسرين
	الكلوروفيليز	الكلوروفيل	الكلوروفيليد + الفيتول
	البكتيز	البكتين	حامض البكتيك + كحول ميثيلى
	الفوسفاتيز	فوسفات الهكسوز	الهكسوز + الفوسفات
(جـ) الإنزيمات البروتيوليتية	أولا : البروتينازات :		
	البيسين	البروتينات	ببتونات
	التربسين	البروتينات	عديدات الببتيدات + أحماض أمينية
	البابيين	البروتينات	عديدات الببتيدات + أحماض أمينية
	البروميلين	البروتينات	عديدات الببتيدات + أحماض أمينية
	ثانياً : الببتيديزات :		
	عديدة الببتيديزات	عديدات الببتيدات	ثنائيات الببتيدات + أحماض أمينية
	ثنائية الببتيديزات	ثنائيات الببتيدات	أحماض أمينية

بعض إنزيمات التحليل المائى فى النبات (تابع)

القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(د) الدى أميديزات والدى أمينيزات	اليوريز	اليوريا	النشادر + ثانى أكسيد الكربون
	الأسباراجينيز	الأسباراجين	النشادر + حمض الأسبارتيك
	الجلوتامينيز	الجلوتامين	النشادر + حمض الجلوتاميك
	أرجينيز	أرجينين	أورنثين + يوريا

إنزيمات الإضافة

(Lyases)

وتشمل الإنزيمات التى تساعد الانشطار المباشر للروابط دون تدخل متفاعلات أخرى ، وقد أطلق عليها إنزيمات الإضافة لأنها تساعد الفعل العكس كما تساعد الفعل الطردى .

ومن هذه الإنزيمات ما يساعد على تكسير الرابطة (ك ـ ك) كتلك التى تنزع ثانى أكسيد الكربون من مادة التفاعل أو تضيفه إليها ، ومن أمثلتها إنزيم ديكاربوكسيليز الأكسالات (Oxalate decarboxylase) الذى يساعد التفاعل التالى :

ك اا يد
|
ك اا يد ⇄ (ديكاربوكسيليز) يد . ك اا يد + ك ا$_٢$

حمض الأكساليك ← الأكسالات → حمض الفورميك

ومنها ما يساعد على تكسير الرابطة (ك — ا) كتلك التى تنزع الماء من مادة التفاعل أو تضيفه إليها ، ومن أمثلتها إنزيم الفيوماريز (Fumarase) الذى يساعد التفاعل التالى :

ك يد . ك ا ا يد — فيوماريز — ك يد (ا يد) . ك ا ا يد

|| + يد٢ ا   ⇌ |

ك يد . ك ا ا يد — ك يد٢ . ك ا ا يد

حمض الفيوماريك — حمض الماليك

ومنها أيضاً ما يساعد على تكسير الرابطة (ك ن) مع انطلاق النشادر ، ومن أمثلتها إنزيم الأسبارتيز (Aspartase) الذى يساعد التفاعل التالى :

ك يد٢ . ك ا ا يد — ك يد . ك ا ا يد

| الأسبارتيز || + ن يد٣

ك يد (ن يد٢) . ك ا ا يد ⇌ ك يد . ك ا ا يد

حمض الأسبارتيك — حمض الفيوماريك

ومن إنزيمات الإضافة إنزيم الألدوليز (Aldolase) الواسع الانتشار ، والذى يساعد على شطر جزىء « فركتوز — ١ ، ٦ — ثنائى الفوسفات » إلى جزيئين من فوسفات السكر الثلاثى .

إنزيمات التشابه
(Isomerases)

وهى إنزيمات خاصة بإحداث تغيرات داخلية فى جزىء المادة ، ومن أمثلتها إنزيم هكسوز فوسفات أيسومريز (Hexose phosphate isomerase) الذى يحول جزىء جلوكوز — ٦ — فوسفات إلى فركتوز — ٦ — فوسفات .

ومن أمثلة هذه الإنزيمات أيضاً إنزيم « تريوز فوسفات أيسومريز » (Triose phosphate isomerase) الذى يساعد تحول فوسفات الأسيتون ثنائية الإيدروكسيد إلى الدهيد فوسفو الجليسريك .

وهناك إنزيمات تنقل مجموعة من مكان فى الجزىء إلى مكان آخر فى نفس الجزىء مثل إنزيم فوسفوجلوكوميوتيز (Phosphoglucomutase) الذى يساعد تحول جلوكوز — ١ — فوسفات إلى جلوكوز — ٦ — فوسفات .

إنزيمات البناء

(Ligases or Synthetases)

وتتضمن هذه المجموعة إنزيمات تساعد بناء الروابط (ك — ا ، ك — كب ، ك — ن ، ك — ك) ، ويكون ذلك بربط جزيئين ببعضهما البعض على حساب أدينوسين ثلاثى الفوسفات .

ومن أمثلة هذه الإنزيمات الإنزيم المكون لأسيتيل المرافق الإنزيمى ا (Acetyl Co A) كما يلى :

أدينوسين ثلاثى الفوسفات + خلات + المرافق الإنزيمى ا (Co A)

(Acetyl Co A ↓↑ Synthetase)

أدينوسين أحادى الفوسفات + بيروفوسفات + أسيتيل المرافق الإنزيمى ا (Acetyl Co A)

ومن أمثلتها أيضاً إنزيم كربوكسيليز البيروفيك (Pyruvic carboxylase) الذى يساعد التفاعل التالى :

أدينوسين ثلاثى الفوسفات + حمض بيروفيك + ك $ا_٢$ + يد$_٢$ا

كاربوكسيليز ↑↓ البيروفيك

أدينوسين ثنائى الفوسفات + أرثوفوسفات + أكسالو الخلات

الباب الرابع والثلاثون

التنفس

تتميز كل الكائنات الحية بقدرتها على إطلاق الطاقة بصفة مستمرة ، ويتم ذلك عادة بتفكيك المواد المعقدة التى توجد داخل خلاياها الحية إلى مواد أبسط تركيباً منها . ويصاحب هذه العملية عادة امتصاص الأكسيجين وانطلاق ثانى أكسيد الكربون . وقد استعملت كلمة التنفس (Respiration) أولا للتعبير عن هذا التبادل الغازى فى النبات والحيوان على السواء ، غير أن انطلاق الطاقة — وهو أهم مظاهر هذه العملية — ينتج فى بعض الأحيان من تفاعلات لاتشتمل على ذلك التبادل الغازى ، فبعضها لا ينتج منه ثانى أكسيد الكربون ، وبعضها لا يستهلك الأكسيجين ، لذلك لم يعد استعمال كلمة التنفس مقصوراً على تبادل الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون بين النبات والجو المحيط به فحسب ، بل أصبح شاملا لمجموعة العمليات — من أى نوع كانت — التى تؤدى إلى انطلاق الطاقة .

والنوع الشائع من التنفس يتم فيه انطلاق الطاقة بأكسدة مواد عضوية — مثل المواد الكربوايدراتية والدهنية والبروتينية — ويتطلب ذلك استعمال الأكسيجين الجوى ، ومن ثم يعرف هذا التنفس « بالتنفس الهوائى أو الأكسيجينى » (Aerobic or oxygen respiration) ، وهو من الشيوع بحيث يمكن اعتباره الوسيلة العادية لتنفس النباتات . وهذا النوع من التنفس — وإن اختلف فى تفاصيله من نبات إلى نبات على حسب نوع المادة المستهلكة — فإنه ينطوى عادة على امتصاص الأكسيجين وخروج ثانى أكسيد الكربون .

وقد تنطلق الطاقة من عمليات أخرى غير النوع السابق ، ومن أهمها تلك

التي تتفكك فيها المادة الكربوإيدراتية إلى كحول وثانى أكسيد كربون دون استخدام الأكسيجين الجوى ، وتعرف هذه العملية « بالتنفس اللاهوئى أو اللا أكسيجينى » (Anaerobic or Non-oxygen respiration) وهو يماثل التخمر السكحولى الذى تقوم به فطرة الخميرة . وكل النباتات التى تتنفس هوائياً فى الظروف العادية تستطيع أن تتنفس لا هوائياً — ولو لمدة محدودة — إذا حرمت من الأكسيجين وفى بعض الأحيان يكون التنفس اللاهوائى هو الوسيلة العادية للحصول على الطاقة ، كما هو الحال فى بعض أنواع البكتريا ، وخاصة تلك التى لا تعيش إلا فى غياب الأكسيجين .

وهناك أنواع أخرى من البكتريا تقوم بعمليات أكسدة من نوع خاص تؤدى على ما يبدو وظيفة تنفسية ، إذ تنطلق فى أثنائها الطاقة ، وتشتمل هذه العمليات على أكسدة مواد غير عضوية ، ومن أمثلة هذه البكتريا بكتريا النيترة (النيتروسوموناس والنيتروباكتر) التى تؤكسد النشادر إلى النيتريت ثم النيترات ، وبكتريا الكبريت التى تؤكسد كبريتيد الإيدروجين إلى الكبريت ثم الكبريتات ، وبكتريا الحديد التى تؤكسد الحديدوز (ح++) إلى الحديديك (ح+++) ، ثم بكتريا الإيدروجين التى تؤكسد الإيدروجين إلى ماء ، والطاقة المنطلقة من هذه التفاعلات تستغلها الخلايا البكترية فى بناء المود الكربوإيدراتية من ثانى أكسيد الكربون والماء ، وهى العملية التى يطلق عليها إسم البناء الكيميائى (Chemosynthesis) وسيأتى ذكرها تفصيلا فى البـــاب التـــالى .

أصبح من الميسور بعد هذه المقدمة تبين المعنى العـــام لعملية التنفس . فبغض النظر عن الصورة التى تتم بها ، تعتبر ظاهرة إنطلاق الطاقة أهم خصائصها ، أما نوع التبادل الغازى فلم يعد فى المرتبة الأولى من الإعتبار . وسنتناول فيما يلى دراسة تفصيلية لنوعى التنفس الهوائى واللا هوائى ، أما النوع الخاص بالبكتريا فسيأتى شرحه فى أثناء الحديث عن البناء الكيميائى فى الباب التالى .

التنفس الهوائى

يحدث هذا النوع من التنفس فى وجود الأكسيجين ، وغالباً ما تتأكسد المواد المستعملة فيه أكسدة تامة إلى ثانى أكسيد كربون وماء ، وتنطلق كمية كبيرة نسبياً من الطاقة ، تتوقف على نوع المادة المستهلكة ، فعندما تكون مادة التنفس سكراً سداسياً (هكسوز) فإن الاحتراق التام لجرام جزىء (١٨٠ جم) منه يؤدى إلى انطلاق ٦٧٤ كجم سعر كما فى المعادلة :

$$\text{ك}_{6}\,\text{يد}_{12}\,\text{أ}_{6} + 6\,\text{أ}_{2} \longrightarrow 6\,\text{ك أ}_{2} + 6\,\text{يد}_{2}\,\text{أ} + 674\ \text{كجم سعر}$$

وهذه المعادلة هى عكس المعادلة التى تمثل البناء الضوئى ، وكمية الطاقة المنطلقة هى نفسها التى تستخدم عند بناء جرام جزىء من سكر سداسى من ثانى أكسيد الكربون والماء (سيأتى ذكر ذلك تفصيلا فى الباب التالى) .

وعملية التنفس (*) ليست بالبساطة التى تدل عليها المعادلة العامة السابقة ، بل إنها فى الحقيقة تتم فى خطوات كثيرة معقدة ، تتكون فيها نواتج وسطية هامة سيأتى ذكرها فى هذا الباب ، وتقوم بهذه الخطوات مجموعة من الإنزيمات يكونها بروتوبلازم الخلايا الحية حيث يحدث التنفس . وعلى ذلك فليس من الصواب تعريف التنفس على أنه عملية احتراق ، وإن اشتركت العمليتان فى تماثل مواد التفاعل ونواتجه وفى كمية الطاقة المنطلقة .

والهكسوزات – أو السكرات السداسية – هى المواد التى تتأكسد عادة فى خلايا النباتات الراقية . وعندما تحتوى الخلايا الحية على مادة كربوإيدراتية وأخرى دهنية ، فإن الأولى غالباً ماتستهلك تماماً فى التنفس قبل أن يبدأ استعمال الثانية . وعندما يستخدم الدهن كمادة تنفس – كما يحدث عادة عند إنبات البذور الزيتية – فانه يتحلل أولا إلى جليسرين وأحماض دهنية قبل أن يتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون والماء . وليس من المألوف أن يستهلك البروتين فى تنفس الخلايا النباتية إلا إذا نفد كل ما بها من المواد

(*) اذا ذكر لفظ « التنفس » فقط كان المقصود به التنفس الهوائى .

الكربوإيدراتية والدهنية ، وحينئذ تتحلل البروتينات إلى الأحماض الأمينية . التي تتأكسد ويصحب تأكسدها عادة تراكم الأسبراجين وغيره من الأميدات. وقد يتبع ذلك تأكسد الأميدات نفسها وانطلاق النشادر نتيجة لذلك فى أنسجة النبات ، وهذا ما يشاهد عند التجويع الشديد للأوراق بتركها فى الظلام مدة طويلة .

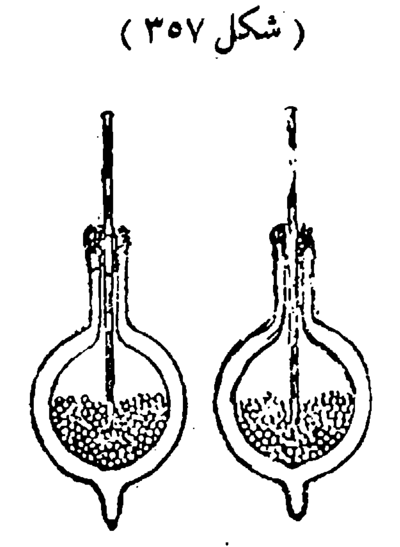
استنفاد الطاقة المنطلقة من التنفس :

إن الطاقة المنطلقة من عملية التنفس — والتى تعتبر أهم خصائصها — ضرورية لقيام الكائن الحى بشتى عملياته الحيوية — ولا يستفيد النبات من كل الطاقة المنطلقة ، إذ أن جزءاً منها يتحول إلى طاقة حرارية ، غالباً ما تنتقل إلى الجو المحيط بالإشعاع والتوصيل ، وقد تسبب فى بعض الأحيان رفع درجة حرارة النبات أو النسيج عن درجة حرارة الوسط الذى يحيط به ، وهذا ما يشاهد عند إنبات البذور وتفتح الأزهار ، وقد سجل ارتفاع فى درجة حرارة النورات القينوية لبعض النباتات مقداره ٢٧,٥°م عن درجة حرارة الجو المحيط بها .

ويمكن إثبات انبعاث طاقة حرارية فى أثناء التنفس بوضع أعضاء نباتية ناشطة — كالبذور النابتة مثلا — فى وعاء محكم كزجاجات الترموس أو دوراق ديوار (Dewar flasks) حتى يكون فقدها للحرارة ضئيلا أو معدوماً ويستخدم لذلك دورقان نظيفان ، توضع فى أحدهما بذور بسلة نابتة حية ويوضع فى الآخر قدر مساو من نفس البذور النابتة التى سبق غليها فى الماء قبل بدء التجربة مباشرة ، ثم تسد فوهة كل دورق بسدادة من القطن ينفذ خلالها ترمومتر (شكل ٣٥٧) يسجل درجات الحرارة على فترات . ويجب لكى تكون النتائج دقيقة أن تعقم البذور والأدوات المستخدمة فى التجربة حتى لايكون ارتفاع درجة الحرارة منبعثاً عن تنفس الكائنات الدقيقة التى تنمو وتزدهر فى البيئة غير المعقمة . وعلى أية حال فإن الترمومتر الموضوع بين البذور الحية يسجل ارتفاعا ملحوظاً فى درجة الحرارة عن تلك التى يبينها الترمومتر الآخر والتى لاتكاد تتغير طوال فترة التجربة .

أما ذلك الجزء من الطــاقة الذى يستفيد منه النبات فيتحول بعضه إلى طاقة كيميائية تختزن فى بعض المركبات على صورة روابط فوسفورية غنيــة بالطاقة ، ومن أمثلة هــذه المركبات أدينوسين ثنائى وثلاثى الفوسفات ، وفيهما يختزن ١٢,٠٠٠ سعر فى كل من الرابطتين الفوسفوريتين الثــانية والثالثة .

(شكل ٣٥٧)



دورقان من دوارق ديوارز بعد اعدادهما لتقدير الارتفاع فى درجة الحرارة فى أثناء تنفس البذور النابتة الحية

وفيما يلى تركيب أدينوسين ثلاثى الفوسفــات برابطتيه الفوسفوريتين الغنيتين بالطاقة :

أدينوسين – فوسفات ~ فوسفات ~ فوسفات

وهذه المركبات المحملة بالطاقة يمكن أن تستخدم فى بناء المواد المعقدة من مواد أبسط تركيباً كبناء النشا من السكر ، والمواد البروتينية من السكر والنيترات . وبناء المواد الدهنية من السكر . فمثلا يستخدم أدينوسين ثلاثى الفوسفات المتكون فى أثناء عملية التنفس فى فسفرة الجلوكوز ، وبذلك يتكون جلوكوز – ٦ – فوسفات الذى يمكن أن يتحول إلى جلوكوز – ١ – فوسفات ويتحول هذا المركب الأخير إلى النشا وتنطلق الفوسفات غير العضوية فى وجود إنزيمات بناء النشا . وعلى ذلك فالطاقة اللازمة لتكوين الروابط الجليكوسيدية فى النشا مستمدة من طاقة الروابط الفوسفورية فى جلوكوز – ١ – فوسفات ، ومصدر هذه الطاقة أصلا هو التنفس .

ومن العمليات التى يتطلب قيامها فى النبات وجود الطاقة انتقال المواد من خلية إلى خلية ، وحركة البروتوبلازم الإنسيابية ، وفى بعض الأحيان حركة الكائن الحى كله ، وامتصاص الأملاح وتراكمها ، ونمو الساق ضد الجاذبية واختراق الجذر للتربة . ومصدر معظم هذه الطاقة – إن لم يكن كلها

— هو عملية التنفس . وعلى ذلك فيمكن الجزم بأن النبات فى حاجة إلى مدد مستمر من الطاقة ، شأنه فى ذلك شأن الحيوان ، وهو يحصل عليها من عملية التنفس ، وليس هناك غير التنفس عملية لا ينقطع حدوثها فى الخلايا الحية .

معامل التنفس أو النسبة التنفسية :

إذا كانت المادة المستهلكة فى التنفس سكراً بسيطاً فإنه يتضح مما سبق أن ستة جزيئات من الأكسيجين قد استعملت فى أكسدة جزىء واحد من هذا السكر وأن ستة جزيئات من ثانى أكسيد الكربون قد تصاعدت نتيجة لذلك أى أن النسبة بين حجم ثانى أكسيد الكربون المتصاعد وحجم الأكسيجين الممتص ($\frac{كا_{٢}}{ا_{٢}}$) تساوى الوحدة . ويطلق على هذه النسبة اسم « النسبة التنفسية » (Respiratory ratio) أو « معامل التنفس » (Respiratory quotient) . وتتوقف قيمته على نوع المادة المستهلكة من جهة وعلى طبيعة عملية التنفس من جهة أخرى . فمثلا إذا كانت مادة التنفس سكراً — كما رأينا — فإن معامل التنفس يساوى الوحدة . وتنتج مثل هذه القيمة عندما تستعمل فى التنفس مادة كربو إيدراتية معقدة كالنشا ، وذلك لأنها تتحول أولا إلى سكر سداسى .

أما إذا استخدمت فى التنفس مادة دهنية فإنها تتطلب قدراً كبيراً من الأكسيجين لكى يتم تأكسدها إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، وذلك لأن نسبة الأكسيجين فى جزيئها أقل من نسبته فى جزىء المادة السكرية . فمثلا يتطلب تأكسد جزىء الدهن « ثلاثى البالميتين » (Tri-palmitin) تأكسداً تاماً استهلاك $٧٢\frac{١}{٢}$ جزىء من الأكسيجين ، ويتصاعد فى نفس الوقت ٥١ جزيئاً من ثانى أكسيد الكربون كما يتضح من المعادلة :

$$ك_{٥١}يد_{٩٨}ا_{٦} + ٧٢\frac{١}{٢}ا_{٢} \rightarrow ٥١كا_{٢} + ٤٩يد_{٢}ا + ٧٥٩٠$$ كجم سعر (تقريباً)

وعلى ذلك فإن معامل التنفس عندما تكون المادة المستعملة دهناً يقل عن الوحدة ، وهو فى هذه الحالة يساوى $\frac{٥١كا_{٢}}{٧٢\frac{١}{٢}ا_{٢}}$ أى ٠,٧ تقريباً .

وتأكسد المادة الدهنية لايكون فى الحقيقة تأكسداً مباشراً ، بل أنها تتحلل أولا إلى أحماض دهنية وجليسرين . وكما يعتقد كثير من الباحثين قد تتحول بعد ذلك إلى سكرات بسيطة تعمل كمادة استهلاك مباشرة للتنفس . وهذا التحول – أو غيره من التفاعلات التى يتطلبها تأكسد المادة الدهنية – يستهلك كمية من الأكسيجين ، ولا يقابلها خروج أى قدر من ثانى أكسيد الكربون .

وبالمثل عندما تتأكسد نواتج تحليل المواد البروتينية فإن معامل التنفس يكون أقل من الوحدة ، وذلك لأن نسبة الأكسيجين إلى الكربون فى مثل هذه المركبات أقل منها فى المواد الكربوإيدراتية .

وفى بعض النباتات – وخاصة ذات الطبيعة العصيرية – تستهلك فى التنفس أحماض عضوية ، وهذه أغنى بالاكسيجين من الكربوإيدراتات ، ولذلك فإنه – على العكس مما يحدث عندما تستهلك فى التنفس مادة دهنية – يكون معامل التنفس فيها أكبر من الوحدة . فمثلا عند تأكسد حمضى الماليك والاكساليك وهما من الاحماض الشائعة فى النباتات – يكون الأكسيجين المستهلك أقل من ثانى أكسيد الكربون الناتج ، وذلك كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

ك يد . ا يد . ك اا يد

| + ٣ ا$_{٢}$ ⟵ ٤ ك ا$_{٢}$ + ٣ يد$_{٢}$ ا + ٣٢٠,١ كجم سعر

ك يد$_{٢}$. ك اا يد

(حمض الماليك)

ك ا ا يد

٢ | + ا$_{٢}$ ⇄ ٤ ك ا$_{٢}$ + ٢ يد$_{٢}$ ا + ٦٠,٢ كجم سعر

ك ا ا يد

(حمض الأكساليك)

وعلى ذلك يكون معامل التنفس مساويا $\frac{\text{٤ ك ا}_{٢}}{\text{٣ ا}_{٢}}$ (أى ١,٣٣) عند تأكسد حمض الماليك ، ويكون مساوياً $\frac{\text{٤ ك ا}_{٢}}{\text{ا}_{٢}}$ (أى ٤) عند تأكسد حمض الأكساليك .

وفى بعض النباتات يستعمل حمض الطرطريك كمادة للتنفس ، وفى هذه الحالة يكون معامل التنفس مساويا ١,٦ .

وقد يحدث فى بعض النباتات ذات الأنسجة الخضراء اللحمية — وخاصة عندما تتنفس فى الظلام — ألا يكون تأكسد المادة السكرية تاماً ، أى لاينتج عن تأكسدها ثانى أكسيد الكربون والماء ، بل أحماض عضوية تتراكم فى الخلايا ، ففى الفصيلة الصبارية (Cactaceae) يتكون حمض الماليك ، وفى جنس الغاسول (Mesembryanthemum) يتكون حمض الأكساليك ، وتمثل المعادلة الآتية تكون حمض الماليك من السكر .

ك يد . ايد . ك ا ا يد

٢ ك$_{٦}$يد$_{١٢}$أ$_{٦}$ + ٣ أ$_{٢}$ ← ٣ | + ٣ يد$_{٢}$أ + ٣٨٦ كجم سعر

ك يد$_{٢}$. ك اا يد

وفى هذه الحالة تكون كمية الأكسيجين الممتصة أكبر بكثير من كمية ثانى أكسيد الكربون المنطلقة ، بل قد لايصحب امتصاص الأكسيجين فى بعض الأحيان تصاعد أى قدر من (ك أ$_{٢}$) ، وعلى ذلك تنخفض قيمة معامل التنفس بدرجة كبيرة ، وهذا ما لوحظ فعلا فى إحدى التجارب التى أجريت على نبات التين الشوكى فى الظلام ، إذ بلغ متوسط قيمة هذا المعامل ٠,٠٣ ، فإذا تعرضت هذه النباتات لضوء الشمس (أو لدرجة حرارة مرتفعة) تحللت الأحماض العضوية المتراكمة فى الظلام ، وانطلق نتيجة لذلك ثانى أكسيد الكربون الذى يستعمل فى البناء الضوئى . ومن المعتقد أن هذا النوع الخاص من التحولات الأيضية يلائم طبيعة النباتات العصيرية — التى يكون التبادل الغازى بين أنسجتها المتضخمة والجو الخارجى بطيئاً — وذلك لأنه يوفر لأنسجة البناء الضوئى فيها قدراً كافياً من ثانى أكسيد الكربون .

وبالإضافة إلى العوامل الداخلية تؤثر بعض العوامل الخارجية كذلك فى قيمة معامل التنفس . فارتفاع درجة الحرارة مثلا فى حدود معينة يرفع من

قيمة هذا المعامل بالقدر الذى تتأثر به سرعة عمليات التأكسد . ففى حالة النباتات العصيرية التى سبق ذكرها يساعد ارتفاع درجة الحرارة على تأكسد الأحماض العضوية التى تراكمت فى درجات الحرارة المنخفضة ، ومن ثم يزيد معامل التنفس . كذلك يؤدى انخفاض تركيز الأكسيجين فى الجو المحيط بالنبات عن نسبة معينة — تختلف باختلاف النبات المستعمل — إلى ارتفاع معامل التنفس ، وذلك لاحتمال خروج كمية من ثانى أكسيد الكربون من عمليات لاهوائية لاتتطلب امتصاص الأكسيجين . ولزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط بالنبات تأثير ملحوظ فى خفض معدل التنفس ، ولما كان النقص فى ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أكبر منه بالنسبة للأكسيجين الممتص فإن معامل التنفس ينخفض هو الآخر .

طرق تقدير سرعة التنفس :

يستخدم فى قياس سرعة التنفس عدة طرق ، أساسها تقدير الأكسيجين المستهلك أو ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أو كليهما معاً ، والأجهزة المستخدمة لذلك كثيرة وخاصة مايستعمل منها لتقدير ثانى أكسيد الكربون المتصاعد ، إذ أن وسائل تقديره كيميائياً أيسر وأكثر تداولا . ويجب عندما يراد قياس سرعة التنفس لنبات أو أجزاء نباتية خضراء أن تحجب هذه عن الضوء — أو تجرى التجربة فى الظلام — حتى لايتعرض التبادل الغازى لتعقيدات مصدرها حدوث البناء الضوئى جنباً إلى جنب مع التنفس ، إذ المعروف أن ما يمتص فى العملية الأولى يتصاعد أثناء العملية الثانية والعكس بالعكس . ومن المتبع عند قياس سرعة التنفس لمادة نباتية ان تنسب كمية الغازات المتبادلة فى الوحدة الزمنية إلى وحدة الوزن الجاف أو الرطب للنبات أو النسيج .

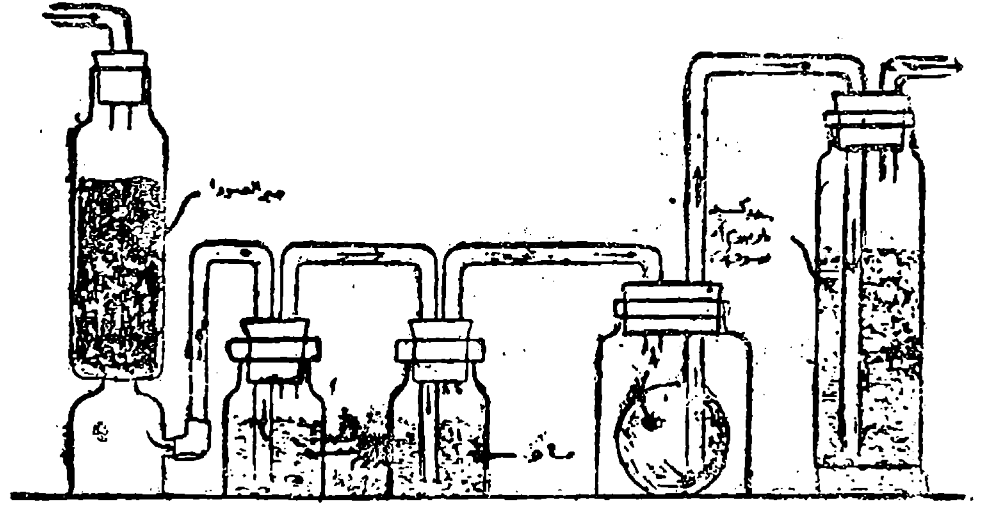
وسنتناول بالشرح فيما يلى بعض الطرق والأجهزة المستخدمة فى تقدير التنفس :

١ — **طريقة التيار الهوائى المستمر** : فى هذه الطريقة يوضع النبات فى

وعاء محكم يدفع فيه تيار مناسب من الهواء الخالى من ثانى أكسيد الكربون ، وذلك بامراره أولا على جير الصودا ثم على إيدروكسيد الباريوم (شكل ٣٥٨) للتأكد من خلو الهواء من ك ا٢ . وبعد مرور الهواء داخل وعاء التنفس وخروجه منه يمرر فى محلول من إيدروكسيد الباريوم معلوم القوة ، فترسب كربونات الباريوم نتيجة لامتصاص ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أثناء تنفس المادة النباتية المستعملة . بعد ذلك تقدر كمية ثانى أكسيد الكربون بمعادلة المتبقى من إيدروكسيد الباريوم بحامض كلورودريك معروف القوة . وقد يستعمل إيدروكسيد الصوديوم بدلا من إيدروكسيد الباريوم فى مثل هذه التجارب .

وطريقة التيار الهوائى المستمر ليست شديدة الحساسية ، ولذلك تستعمل فيها عادة كمية كبيرة من المادة النباتية وفترة تنفسية طويلة نسبياً حتى يمكن الحصول على قراءات دقيقة ، غير أن هذه الطريقة تمتاز بتجدد الهواء حول الأنسجة النباتية المتنفسة وبذلك لايتراكم ثانى أكسيد الكربون ، كما أنه يمكن بوساطتها الحصول على قراءات كثيرة متتابعة طوال فترة التجربة .

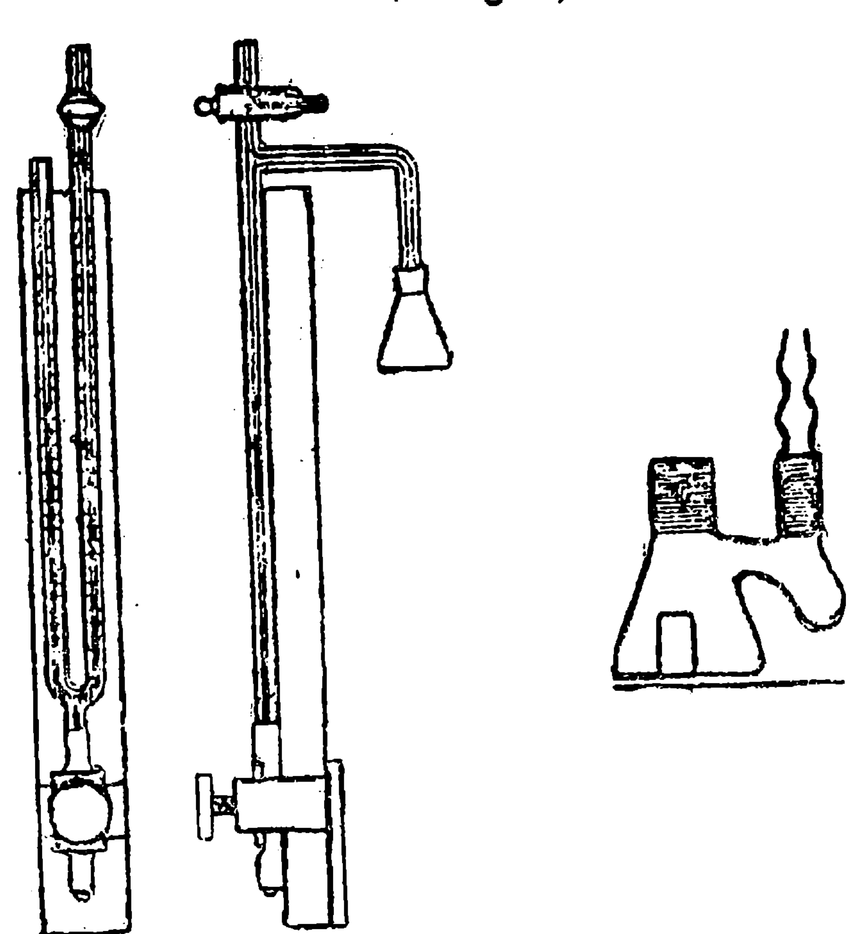
(شكل ٣٥٨)



الجهاز المستخدم فى تقدير سرعة التنفس بطريقة التيار الهوائى المستمر ، ويلاحظ أن الهواء يمر قبل مروره على النسيج النباتى على جير الصودا وإيدروكسيد باريوم لتخليصه من ثانى أكسيد الكربون ، ويمر الهواء بعد خروجه من الوعاء — الذى يحتوى على المادة النباتية — على أيدروكسيد باريوم لامتصاص ثانى أكسيد الكربون الناتج من التنفس.

٢ — الطرق المانومترية : وهى تستخدم فى التقديرات الدقيقة للغازات المتبادلة فى أثناء عملية التنفس . ومن الأجهزة المانومترية المستعملة مانومتر فاربورج (Warburg) — شكل ٣٥٩ — وفيه توضع المادة النباتية فى الدورق المخروطى الصغير الذى يحتوى فى الحوض المثبت فى قاعدته على مادة ماصة لثانى أكسيد الكربون ، غالباً ماتكون إيدروكسيد البوتاسيوم ، ثم يوصل الوعاء بالمانومتر . فعند التنفس تمتص المادة النباتية الأكسيجين وينطلق ثانى أكسيد الكربون ، الذى يمتص بوساطة القلوى الموجود فى الوعاء ، وعلى ذلك

(شكل ٣٥٩)



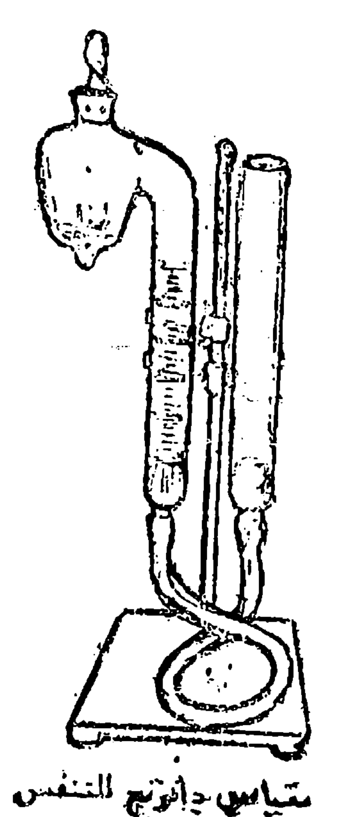
مانومتر فاربورج : إلى اليسار (منظر أمامى) ، وفى الوسط (منظر جانبى) يظهر فيه الدورق الصغير الذى يغمر ويتذبذب فى حمام مائى درجة حرارته ثابتة ، وإلى اليمين الدورق المستعمل فى تقدير سرعة التنفس ، وفيه يظهر الحوض المثبت فى القاع والنتوء الجانبى المثبت عليه سدادة مفرغة بها ثقب ، إذا انطبق على الثقب الموجود فى رقبة النتوء اتصل هواء الدورق بالهواء الجوى ، وإذا لم ينطبق أغلق الاتصال الهوائى

يتناقص حجم الغاز فى الوعاء ويرتفع السائل فى ساق المانومتر القريبة منه بمقدار الأكسيجين المستهلك فقط .

وإذا أجريت فى نفس الوقت تجربة أخرى تستخدم فيها مادة نباتية مماثلة للأولى تماماً ، على ألا يوضع القلوى الماص لثانى أكسيد الكربون فى حوض الدورق ، فإن المانومتر فى هذه الحالة سيسجل الفرق بين حجم ثانى أكسيد الكربون المتصاعد وحجم الأكسيجين الممتص ، وفى هذه الحالة يمكن حساب كمية الغازين وتقدير معامل التنفس .

٣ — مقياس جانونج للتنفس : (Ganong's respirometer) : يمكن بوساطة هذا المقياس (شكل ٣٦٠) تقدير كمية الأكسجين المستهلك وثانى أكسيد الكربون المتصاعد . ولإجراء التجربة يوضع فى مستودع المقياس ٢ سم٣ من المادة النباتية ، التى غالباً ماتكون بذوراً نابتة ، ثم يوضع فى مانومتر المقياس محلول مركز من ملح الطعام حتى لايذوب فيه ثانى أكسيد الكربون المتصاعد من التنفس . وقبل بدء التجربة يحرك الغطاء الزجاجى حتى ينطبق ثقبه على الثقب الموجود فى عنق المستودع — وذلك لكى يصبح ضغط الهواء حول المادة النباتية ضغطاً جوياً — ثم يضبط سطح المحلول فى ساق المانومتر المدرجة عند تدريج المائة ، وبذلك يكون حجم الهواء داخل الجهاز ١٠٠ سم٣. وتبدأ التجربة بتحريك الغطاء الزجاجى حتى ينقطع الاتصال بالجو الخارجى ثم يترك الجهاز مدة من الزمن تستهلك فيها الأنسجة الأكسيجين وتطرد ثانى أكسيد الكربون .

(شكل ٣٦٠)



مقياس جانونج للتنفس

فإذا كان حجم الأكسيجين المستهلك مساوياً لحجم ثانى أكسيد الكربون المتصاعد فإن سطح المحلول فى المانومتر لايتغير ، ويحدث هذا عندما تكون المادة المستهلكة فى التنفس مادة كربوإيدراتية . فإذا أضيف إلى المحلول الملحى كرات صغيرة من الصودا الكاوية فإنها تمتص ثانى أكسيد الكربون المتراكم ويرتفع سطح المحلول فى الساق المدرجة بمقدار حجم هذا الغاز ، الذى يمثل فى نفس الوقت حجم الأكسيجين الممتص ، وعلى ذلك يكون معامل التنفس مساوياً الوحدة .

أما إذا اختلف حجما الغازين المتبادلين فإن سطح المحلول فى المانومتر يتغير ، فإذا كان حجم الأكسيجين المستهلك أكبر من حجم ثانى أكسيد الكربون المتصاعد ارتفع سطح المحلول فى ساق المانومتر المدرجة بمقدار هذه الزيادة ، ويحدث هذا عندما تكون المادة المستهلكة فى التنفس مادة دهنية . فإذا فرضنا أن مقدار الزيادة فى حجم الأكسجين يعادل ($ح_١$) ، وأنه عند إضافة الصودا الكاوية ارتفع سطح المحلول فى الساق المدرجة بمقدار حجم ثانى أكسيد الكربون ($ح_٢$) فإن معامل التنفس يكون مساوياً $\frac{ح_٢}{ح_٢+ح_١}$ ، أى أقل من الوحدة .

ولما كان أى تغير فى درجة الحرارة يغير من حجم الغاز الموجود فى المقياس حول المادة النباتية فقد أصبح من الواجب تصحيح القراءات التى يبينها هذا المقياس حتى نحصل على نتائج صحيحة . ولإجراء ذلك يستعمل جهاز مماثل تستبدل فيه بالمادة الحية مادة غير حية (كالقطن الأبيض مثلا) ويترك للمقارنة طول فترة التجربة ، فإذا حدث أى تغير فى حجم ما به من غاز نتيجة لتغير الظروف الخارجية فإن قيمته لابد أن تطرح أو تضاف إلى القراءة التى يبينها الجهاز الأول .

سرعة التنفس فى النباتات والأنسجة المختلفة :

تتفاوت سرعة التنفس بدرجة كبيرة فى الأنواع المختلفة من النباتات ، فالفطريات والبكتريا هى أنشط النباتات تنفساً إذ تبلغ سرعة تنفسها أضعاف

سرعة التنفس لأى نبات راق ، وفى النباتات الراقية تقل سرعة تنفس نباتات الظل والنباتات العصيرية عن مثيلتها فى النباتات العادية ، ويوضح الجدول (٢٥) أمثلة لهذا التفاوت فى سرعة التنفس .

جدول (٢٥)

سرعة تنفس الأنسجة النباتية المختلفة

(سم٣ ك ا٢ فى الساعة لكل جرام من الوزن الجاف)

النبات	العضو المستعمل	سرعة التنفس
الخميرة	الخلية الكاملة	٦٠ — ١٠٠
الأسبر جيللس	مزرعة عمرها يومان	٧٨
	مزرعة عمرها أربعة أيام	١١,٥
الطماطم	أطراف الجذور	٦ — ٨
البنجر	أقراص من الجذور	٠,٣٨ — ١,٦٥
الشعير	بادرات عمرها ٧ أيام	١,٦
عباد الشمس	بذور نابتة	١,٥
	نباتات عمرها ٣ شهور	٠,٢
البسلة	بذور جافة	٠,٠٠٠١٢

وليس الاختلاف فى سرعة التنفس مقصوراً على النباتات المختلفة ، بل أنها تتفاوت بدرجة ملحوظة بالنسبة للنبات الواحد فى مراحل حياته المتتابعة ، فقد وجد أن سرعة تنفس النبات الكامل تصل إلى ذروتها فى فترة النمو المبكرة ، ثم تأخذ بعد ذلك فى التناقص تدريجياً مع ازدياد النمو ، هذا بالرغم من أن التنفس الكلى للنبات يزداد زيادة مضطردة . والسبب فى انخفاض سرعة التنفس أن النبات بتخطيه مرحلة الإنبات إلى مرحلة النمو ثم البلوغ فالشيخوخة يضيف إلى جسمه مواد أغلبها خاملة لاتساهم بقسط ما فى عملية التنفس ، إذ المعروف أن البروتوبلازم هو مركز النشاط التنفسى ، ولكنه فى النبات البالغ لايكون إلا قدراً ضئيلاً بالنسبة إلى ما يوجد به من خشب ومواد غير تنفسية ، وبمعنى آخر تزداد نسبة المواد الخاملة فى وحدة الوزن الجاف

التى ينسب إليها التنفس . وما ينطبق على النبات الكامل ينطبق على كل عضو من أعضائه على حدة .

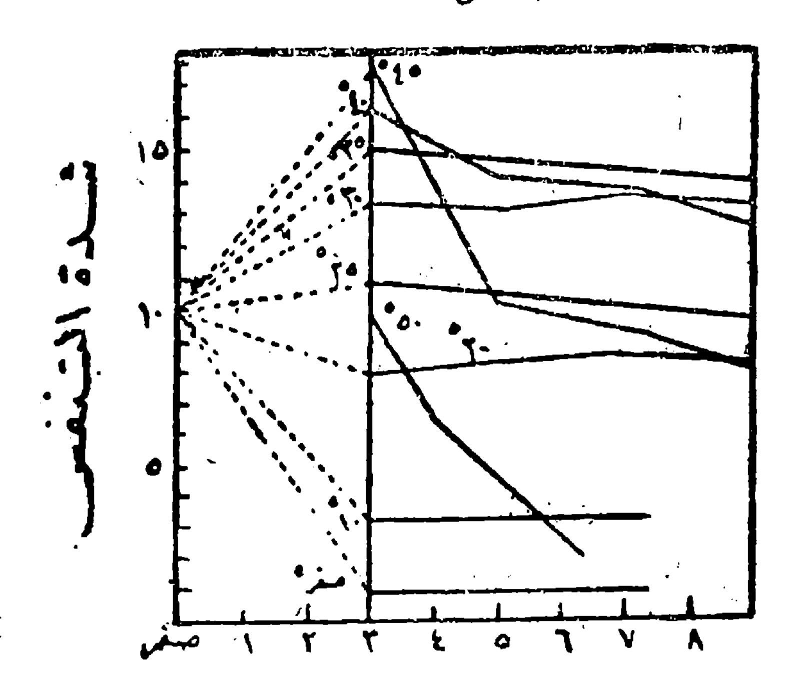
كذلك تختلف سرعة التنفس بالنسبة للأعضاء المختلفة لنفس النبات الراقى فالأوراق عامة أنشط فى تنفسها من الجذور أو السيقان أو الثمار ، وهى التى تساهم بقسط وافر فى التبادل الغازى للنبات جميعه . والأنسجة المختلفة للعضو الواحد تختلف هى الأخرى فى سرعة تنفسها ، فالكامبيوم يتنفس بسرعة أكبر من اللحاء أو الأنسجة الخشبية ، ويعزى ذلك — كما سبق أن ذكرنا — إلى أن الأنسجة الخشبية تحتوى على نسبة كبيرة من مواد الجدار الخاملة .

وفى البذور الساكنة والجراثيم تبلغ سرعة التنفس حداً كبيراً من الضآلة ولكنها ترتفع ارتفاعاً ملحوظاً عند الإنبات . ولا تعزى ضآلة سرعة التنفس فى هذه الأنسجة إلى زيادة نسبة المواد الخاملة وانخفاض نسبة البروتوبلازم ولكن إلى عوامل أخرى أهمها نقص المحتوى المائى .

العوامل التى تؤثر فى سرعة التنفس :

١ — درجة الحرارة : تؤثر درجة الحرارة تأثيراً ملحوظاً فى عملية التنفس ، ويتضح ذلك من نتائج التجارب التى يمثلها الرسم البيانى (شكل ٣٦١) . وقد استعملت فى هذه التجارب بادرات بسلة عمرها أربعة أيام ، وقدرت سرعة التنفس لعينات منها فى درجات حرارة أعلى وأقل من درجة ٢٥° م التى تتنفس عندها البادرات بسرعة ثابتة . فوجد أن سرعة التنفس فى الدرجات التى تقل عن ٢٥°م تنخفض تدريجياً حتى تصل إلى قيمة معينة تستمر بعدها ثابتة تقريباً . أما فى الدرجات التى بين ٢٥° و ٣٥°م فإن سرعة التنفس ترتفع تدريجياً حتى تصل إلى حد ثابت . وقد وجد أن الزيادة فى سرعة التنفس التى تنتج عن كل ارتفاع قدره ١٠°م (المعامل الحرارى) بين درجتى صفر° و ٣٥°م تتراوح بين ٢ — ٢,٥ . وتتفق هذه القيمة مع معامل فانت هوف الخاص بالتفاعلات الكيميائية .

(شكل ٣٦١)



العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة ومعدل تنفس بادرات البسلة . الخطوط المتقطعة تمثل الفترات التى كانت تتغير فيها درجة حرارة البادرات من ٢٥ درجة مئوية إلى الدرجة المطلوبة (عن نتائج فيرناندز ١٩٢٣) .

أما عند درجات الحرارة التى فوق ٣٥°م ، فإن سرعة التنفس تكون محصلة عاملين متضادين . أولهما استمرار التأثير المنشط للحرارة فى سرعة التفاعلات الكيميائية للتنفس ، الأمر الذى يؤدى إلى زيادة مبدئية ملحوظة فى معدل العملية عند درجتى ٤٠° و ٤٥°م ، أما العامل الآخر فمثبط ، وهو أن درجات الحرارة فوق ٣٥°م تؤدى إلى تناقص النشاط الإنزيمى تدريجياً ، وإلى هذا العامل الثانى يعزى كل انخفاض فى التنفس يشاهد عندما تطول فترة التجربة فى أى درجة حرارة فوق ٣٥°م . وكلما ارتفعت درجة الحرارة كان الانخفاض فى سرعة التنفس أسرع ، وعند درجة ٥٠°م لا تكون هناك زيادة مبدئية فى سرعة التنفس بل على العكس يبدأ عندها التنفس منخفضاً عن سرعته عند درجة ٢٥°م .

ومن نتائج التجارب السابقة تتضح العلاقة بين تأثير درجة الحرارة وعامل الزمن ، فبينما كانت سرعة التنفس بعد ثلاث ساعات عند درجة ٤٥°م أعلى

منها عند درجة ٣٠°م ، كانت هذه السرعة بعد خمس ساعات عند ٣٠°م أعلى منها عند ٤٥°م . ويبدو بوجه عام أنه كلما طالت فترة التجربة كانت الدرجة المثلى منخفضة .

ودرجة الحرارة المثلى لتنفس بأدرات البسلة — وهى أقصى درجة حرارة تستمر عندها سرعة التنفس ثابتة لا تنخفض بمرور الزمن — تقع بين درجتى ٣٠° و ٣٥°م . والدرجة المثلى ليست ثابتة لكل النباتات بل تختلف من نبات لآخر .

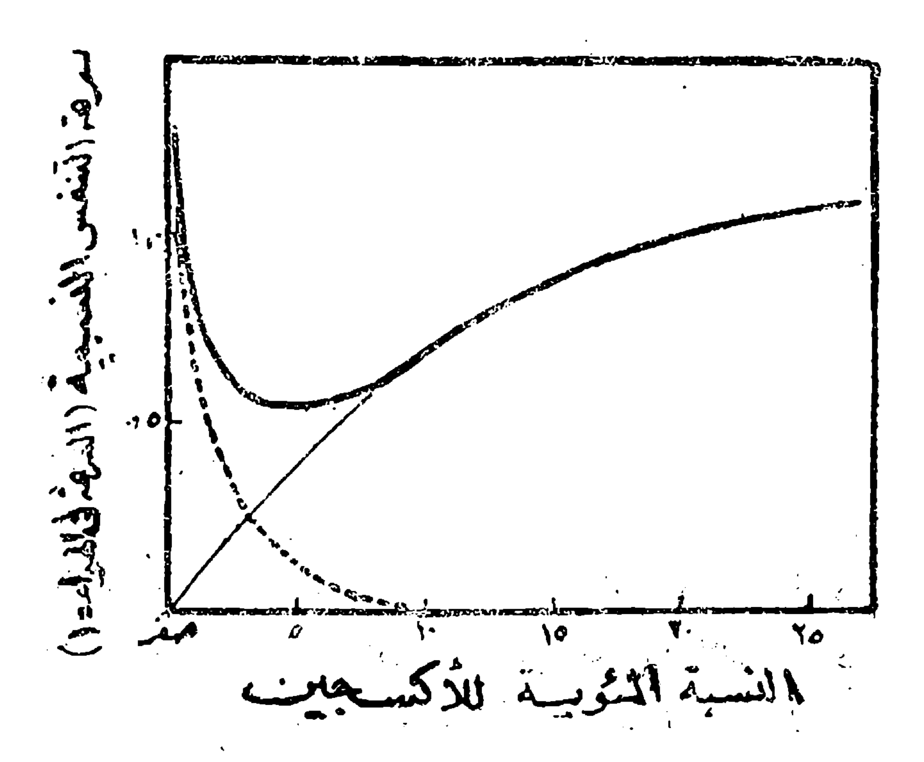
٢ — تركيز الأكسيجين الجوى : تتنفس أنسجة النباتات الراقية عند نقص الأكسيجين حولها عن تركيزه العادى تنفساً لاهوائياً إلى جانب تنفسها الهوائى ، وعلى ذلك فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج فى التركيزات المنخفضة من الأكسيجين يكون مختلط المصدر ، فبعضه من التنفس الهوائى وبعضه الآخر من التنفس اللاهوائى ، وفى غياب الأكسيجين يكون كل ثانى أكسيد الكربون الناتج لاهوائياً . وقد أوضح ستتش (Stich) من دراساته على سرعة التنفس أن تركيز الأكسيجين قد ينخفض إلى نسبة ضئيلة (٥٪ أو أقل على حسب نوع النسيج) قبل أن يبدأ التنفس اللاهوائى الذى يصحبه ارتفاع ملموس فى سرعة التنفس .

أما بالنسبة لتأثير تركيز الأكسيجين فى سرعة التنفس فقد وجد أن ذلك يختلف باختلاف الأنسجة ، فدرنات البطاطس لاتتأثر سرعة إنتاجها لثانى أكسيد الكربون بتغير تركيز الأكسيجين من ٦,٢٪ إلى ١٠٠٪ ، إلا أنه فى غياب الأكسيجين تنخفض سرعة تصاعد هذا الغاز كثيراً . وفى درنات الطرطوفة وجد أن سرعة انطلاق ثانى أكسيد الكربون لاتتأثر بتركيزات الأكسيجين التى فوق تركيزه الجوى ، ولكنها تنخفض تدريجياً كلما تناقص تركيز الأكسيجين عن تركيزه العادى فى الهواء .

وفى ثمار التفاح يختلف تأثير التركيزات المنخفضة من الأكسيجين عنه فى الأنسجة السابقة ، أما فى التركيزات العالية فإن كل زيادة فى التركيز عن التركيز الجوى يصحبها زيادة فى سرعة تصاعد ثانى أكسيد الكربون . فقد

وجد بلاكمان وباريجا (Blackman & Parija) من نتائج تجاربهما على التفاح أن سرعة انطلاق ثانى أكسيد الكربون فى جو من النيتروجين تكون مرتفعة ، ثم تأخذ فى التناقص كلما زاد تركيز الأكسيجين حتى تصل إلى نهاية صغرى عندما يبلغ تركيز الأكسيجين ٥٪ أو ٩٪ على حسب نوع الثمار المستعملة ودرجة نضجها ، وكل زيادة بعد ذلك فى تركيز الأكسيجين حتى ١٠٠٪ تصحبها زيادة فى سرعة التنفس . وقد عبر بلاكمان عن هذه النتائج برسم تخطيطى (شكل ٣٦٢) ، يمثل الخط السميك فيه ثانى أكسيد الكربون الناتج فى التركيزات المختلفة من الأكسيجين ، ويمثل الخط الرفيع الأكسيجين الممتص فى نفس الوقت ، أما الخط المتقطع فيمثل الفرق بين الاثنين ، وهو يساوى

(شكل ٣٦٢)



رسم تخطيطى يوضح علاقة التنفس فى التفاح بدرجة تركيز الأكسيجين . يمثل الخط السميك سرعة تصاعد ثانى أكسيد الكربون فى التركيزات المختلفة للأكسيجين ، ويتبع استهلاك الأكسيجين نفس المنحنى مادام معامل التنفس يساوى الوحدة ولكنه ينحرف — كما يتضح من الخط الرفيع — فى التركيزات المنخفضة ، ويمثل الخط المتقطع زيادة ثانى أكسيد الكربون المتصاعد على الأكسيجين المستهلك وهى التى تعادل ثانى أكسيد الكربون اللاهوائى .

ثانى أكسيد الكربون الناتج لاهوائياً(١) . وطالما كان ذلك موجوداً فإن معامل التنفس يرتفع عن الوحدة . والنقطة التى يصبح عندها التنفس اللاهوائى منعدماً — ومن ثم ينخفض المعامل إلى الوحدة — تعرف « بنقطة الانتهاء للتنفس اللاهوائى » (Extinction point of anaerobic respiration) ، وهى ليست ثابتة فى جميع النباتات ، ولكن تختلف من نبات إلى نبات ، وحتى فى العضو النباتى الواحد تختلف باختلاف درجة نضجه كما رأينا فى حالة التفاح ، ففى الثمار السليمة تقع هذه النقطة بين ٣٪ و ٥٪ أكسيجيناً . ولكنها ترتفع كلما تقدمت الثمار فى السن . وقد يكون ذلك لضعف قدرة إنزيمات التنفس على التأكسد .

وقد استغلت ظاهرة انخفاض سرعة التنفس إلى نهاية صغرى عند تركيز معين من الأكسيجين فى عملية حفظ الفواكه . فقد وجد أن ما يتصاعد من ثانى أكسيد الكربون فى فترة نضج ثمرة ما ثابت للنوع الواحد ، وعلى ذلك فإن أية وسيلة تعطل ثانى أكسيد الكربون لابد وأن تؤخر نضج هذه الثمرة ، ويمكن أن يتحقق ذلك بالتحكم فى تركيز الأكسيجين فى غرف الاختزان .

٣ — **تركيز ثانى أكسيد الكربون :** تنخفض سرعة التنفس إذا زاد تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط بالأنسجة المتنفسة زيادة كبيرة . وقد لوحظ أن نسبة الانخفاض فى ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أكبر منها فى الأكسيجين الممتص . وعلى ذلك فكلما زاد تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو انخفض معامل التنفس .

ومما تجدر الإشارة إليه أن تأثير الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون ودرجة الحرارة فى التنفس قد استغل إقتصاديا فى حفظ الفواكه والخضراوات ، فقد تبين أن حفظ ثمار التفاح فى جو يحتوى على ٥٪ ثانى أكسيد كربون ، ٣٪ أكسيجين ، ٩٢٪ نيتروجين وعند درجة حرارة ٤° — ٥°م يؤدى إلى

(١) هذا بفرض ان النسبة بين ثانى اكسيد الكربون الناتج والاكسجين الممتص (معامل التنفس) فى التنفس الهوائى تظل ثابته فى التركيزات المختلفة من الأكسيجين .

انخفاض سرعة التنفس وغيره من التحولات ، لدرجة أن الثمار بعد اختزانها لمدة ثمانية أشهر أو أكثر فى الظروف السابقة كانت أجود من ثمار مماثلة حفظت لمدة أقل فى أماكن الحفظ العادية حتى ولو كانت درجة الحرارة عند الصفر المئوى .

٤ – تركيز مادة التنفس : لما كان التنفس يشتمل على أكسدة المواد العضوية التى توجد فى الخلايا الحية كان من المتوقع أن يؤثر تركيز هذه المواد فى سرعة التنفس . ويمكن القول عموما أن زيادة المواد الذائبة تؤدى إلى زيادة سرعة التنفس حتى نقطة معينة تصبح عندها العملية محددة بعامل آخر .

وقد درست العلاقة بين تركيز مادة التنفس وسرعة العملية فى أنواع مختلفة من الأنسجة النباتية ، فلقد لاحظ كثير من الباحثين أن تنفس الخيوط الفطرية والأوراق الصفراء وغيرهما من الأنسجة النباتية – كأقراص جذور البنجر والجزر ودرنات البطاطس – يزداد عند غمرها فى محاليل السكرات المختلفة وخاصة السكروز والجلوكوز والفركتوز والمولتوز .

ويزداد كذلك تنفس الأوراق الخضراء فى الظلام عقب تعرضها للضوء مدة كافية ، وذلك لأن قيام الأوراق بعملية البناء الضوئى يؤدى إلى زيادة محتواها من السكر . أما إذا تركت الأوراق فى الظلام مدة طويلة فإن سرعة التنفس لا تلبث أن تنخفض نتيجة لتناقص محتواها السكرى ، ويستمر هذا الانخفاض فترة من الزمن ثم يعقبه ارتفاع ثان بالرغم من استمرار النقص فى المحتوى الكربوإيدراتى ، غير أن هذا الارتفاع المؤقت لا يلبث أن يعقبه انخفاض فى سرعة التنفس يستمر حتى تموت الخلايا . وقد فسر الارتفاع الثانى بأنه نتيجة لاستعمال بروتين السيتوبلازم نفسه فى التنفس بعد نفاد المواد الكربوإيدراتية .

وفى بعض الأحيان يكون لدرجة الحرارة تأثير غير مباشر على سرعة التنفس . فإذا حفظت درنات البطاطس فى درجة بين صفر° و ٥°م مدة شهرين أو أكثر ، فإن تنفس هذه الدرنات عندما تنقل إلى درجة الحرارة العادية يكون أسرع من تنفس درنات مماثلة لم تعامل نفس المعاملة . والسبب

فى ذلك أن درجات الحرارة المنخفضة تؤدى إلى ازدياد المحتوى السكرى للدرنات نتيجة لتحلل بعض النشا المدخر فيها .

٥ – المحتوى المائى للأنسجة : يتضح تأثير الماء فى التنفس من التجارب التى أجريت على البذور المختلفة ، فقد وجد أنه فى حدود معينة يؤثر المحتوى المائى تأثيراً كبيراً على سرعة التنفس . فزيادة المحتوى المائى لحبوب القمح مثلا من ١٢٪ – التى تحتوى عليها الحبوب الجافة – إلى ١٦٪ يؤثر تأثيراً ضئيلا على التنفس ، ولكن زيادة المحتوى المائى من ١٦–١٧,١٪ تسبب ارتفاعاً كبيراً فى سرعة التنفس (شكل ٣٦٣) ، وعلى ذلك فمن المهم أن يكون المحتوى المائى للحبوب عند خزنها أقل من الحد الذى ترتفع عنده سرعة التنفس .

(شكل ٣٦٣)

الدلالة بين المحتوى المائى لحبوب القمح وسرعة التنفس (من نتائج بيلى وجوحار ١٩١٨)

ويعزى انخفاض التنفس عندما يكون المحتوى المائى للبذور قليلا إلى أن معظم ما بها من ماء يوجد فى صورة مرتبطة لا تلائم عمليات التحليل المائى ،

ومن ثم فلا تتحلل المواد العضوية المدخرة إلى مواد بسيطة تستعمل فى التنفس، كذلك يسبب نقص المحتوى المائى لأغشية الخلية ضعف نفاذيتها للأكسيجين وثانى أكسيد الكربون . أما حينما تزداد نسبة الماء من ١٦–١٧٪ فى حالة حبوب القمح فإن هذه الزيادة تكون حرة ، أى تصلح كوسط للتفاعلات التحليلية (مثل تحليل النشا المدخر فى البذور النشوية إلى سكر) وغيرها .

وعلى ذلك يزيد التنفس زيادة كبيرة ، وكلما زادت نسبة الماء عن ١٧٪ ارتفع التنفس بدرجة كبيرة ، غير أن نسبة الزيادة تتضاءل سريعاً كلما اقترب تشبع الأنسجة .

أما الأنسجة التى تحتوى على نسبة عالية من الماء — مثل الأوراق العادية والثمار والدرنات والسيقان والجذور — فإن سرعة تنفسها تكاد لا تتأثر بالتغيرات العادية فى محتواها المائى ، وذلك لأن قدراً كبيراً من الماء الذى تحتوى عليه يوجد فى حالة حرة .

وعلى عكس ما سبق قد يؤدى نقص المحتوى المائى فى بعض الأنسجة النباتية إلى زيادة التنفس. فعندما تقترب أنسجة الأوراق أو غيرها من الأعضاء النباتية من حالة الذبول يتحالل ما بها من نشا متراكم إلى سكر . وهذه الزيادة فى محتوى الخلايا من السكر تسبب ارتفاعاً فى سرعة التنفس . وهو ما يلاحظ عادة عند ذبول الأنسجة .

٦ — **الضوء** : ليس من اليسير الحكم على مدى التأثير المباشر للضوء فى عملية التنفس ، إذ أن الزيادة الناتجة عند تعريض الأنسجة المتنفسة للضوء ضئيلة لا تكاد تذكر ، خاصة إذا كانت خالية من الكلوروفيل . أما فى الأنسجة الخضراء فيكون تأثير الضوء على التنفس غير مباشر إذ أن الزيادة فيه تعزى إلى ما يتكون من مادة التنفس فى أثناء البناء الضوئى .

وفى حالات الإضاءة الشديدة ترتفع درجة حرارة الأنسجة فتزداد سرعة التنفس ، ويكون تأثير الضوء فى هذه الحالة غير مباشر .

وفى النباتات العصيرية يزداد انطلاق ثانى أكسيد الكربون فى الضوء نتيجة لتحلل الأحماض العضوية التى تراكمت داخل الأنسجة فى الظلام ، وعلى ذلك فإن النقص فى ثانى أكسيد الكربون الناتج من هذه الأنسجة وهى فى الظلام يكون مرده إلى تأكسد السكر جزئياً إلى أحماض عضوية .

٧ - **تأثير إضافة بعض المواد الكيميائية :** تؤثر بعض المواد تأثيراً كبيراً على التنفس إذا أضيفت إلى الوسط الذى توجد فيه الخلايا ، وقد درس تأثير الأملاح المعدنية والأحماض والقلويات والمواد العضوية السامة ، فتبين أن تأثيرها يختلف باختلاف المادة المضافة وتركيزها ونوع النسيج المستعمل . فقد وجد بعض الباحثين أن تنفس الأنسجة النباتية يزداد فى وجود محاليل مخففة لعدد من الأملاح .

وقد يكون للأحماض المختلفة تأثير مماثل لتأثير الأملاح ، فعندما استعمل فى إحدى التجارب مخلوط من حامض النيتريك (٠,٠٠٠١ عيارى) ونترات الصوديوم (٠,١ عيارى) كان له تأثير فى زيادة التنفس أكبر من تأثير كل من المادتين على انفراد .

كذلك تبين أن المواد العضوية السامة - كالكلوروفورم والإثير والفورمالدهيد والكحول الإيثيلى والقلويدات المختلفة - ذات تأثير ملحوظ على التنفس ، فهى عندما تضاف إلى بيئة النبات بتركيزات جد منخفضة تسبب زيادة فى سرعة التنفس غالباً ما تستمر ما بقى تأثير المادة ، ولكن إضافتها بتركيزات متوسطة تسبب زيادة مبدئية يعقبها انخفاض فى سرعة التنفس عن معدلها المعتاد ، أما التركيزات العالية من هذه المواد فتؤدى إلى انخفاض سرعة التنفس حتى الصفر دون أن تكون هناك زيادة مبدئية . وإذا لم يكن تركيز المادة المستعملة عالياً ولم تكن فترة تعرض النسيج لها طويلة فإن مفعولها يكون عكسياً ، وإلا فإنها تؤدى إلى الإضرار بالبروتوبلازم نفسه ، ومن ثم يكون تأثيرها غير عكسى .

ونظراً لاشتمال عملية التنفس على تفاعلات إنزيمية متعددة ، فإنه من

المتوقع أن يكون للمواد المثبطة لنشاط إنزيمات التنفس تأثير مماثل فى العملية نفسها ، ومن بين هذه المواد السيانيد والأزايد (Azide) وأول أكسيد الكربون والفلوريدات (Fluorides) وحمض المالونيك (Malonic acid) وأيودوالخلات (Iodoacetate) وكل منها يؤثر فى تفاعل إنزيمى أو أكثر ، وقد سبقت الإشارة إلى تأثير بعضها فى باب الإنزيمات .

٨ — **تأثير إحداث الجروح** : من الظواهر المعروفة أن إحداث الجروح فى الأنسجة النباتية يسبب زيادة مؤقتة فى معدل تنفسها . فإذا قطعت درنة البطاطس إلى نصفين فإن سرعة تنفس هذين النصفين يصبح أعلى بكثير من سرعة تنفس الدرنة السليمة ، وقد لوحظ نفس التأثير بالنسبة لكثير من الأعضاء النباتية الأخرى ، وغالباً ما تصل الزيادة فى التنفس — الناشئة عن القطع — إلى نهايتها القصوى خلال يومين من حدوث القطع ، تنخفض بعدها سرعة التنفس تدريجياً حتى تصل إلى معدلها العادى فى الأنسجة السليمة تقريباً . وليس هناك من شك فى أن هذه الزيادة تعزى أولا إلى انطلاق ثانى أكسيد الكربون المتجمع فى المسافات البينية للأنسجة . وخاصة إذا كانت من أنسجة التخزين ، وثانياً إلى ازدياد تنفس الخلايا عند تعرضها للجو وقد كانت قبل القطع مندمجة داخل كتلة النسيج ، وقد تعزى زيادة التنفس أيضاً إلى تجدد النمو الذى كثيراً ما يحدث نتيجة للجروح .

وفى درنات البطاطس يسبب القطع زيادة تركيز السكر وخاصة فى الخلايا القريبة من سطح القطع . وهذه الزيادة — التى تبلغ من ٥٣٪ إلى ٦٨٪ من المحتوى السكرى الأصلى للدرنات — قد تفسر الارتفاع المشاهد فى سرعة التنفس عند تقطيع الدرنات .

التنفس اللاهوائى

إذا نقل نبات إلى جو خال من الأكسيجين فإن انتاجه لغاز ثانى أكسيد الكربون لا ينقطع بل يستمر ، ومعنى هذا أن النبات يمكنه أن يتنفس بمعزل

عن الأكسجين . وتعرف عملية التنفس فى هذه الحالة بعملية « التنفس اللاأكسيجينى أو اللاهـــوائى(Non - oxygen or Anaerobic respiration) وفى هذا النوع من التنفس لا يكون تحلل المادة المستهلكة تاماً إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، بل جزئياً ينتج عنه – علاوة على ثانى أكسيد الكربون – الكحول الإيثيلى وينطلق قدر ضئيل من الطاقة ، ويمكن تمثيل العملية كلها بالمعادلة الآتية :

ك$_{٦}$ يد$_{١٢}$ ا$_{٦}$ ← ٢ ك ا$_{٢}$ + ٢ ك$_{٢}$ يد$_{٥}$ ا يد + (٢٥– ٢٨) كجم سعر

ويشبه التنفس اللاهوائى إلى حد كبير عملية التخمر الكحولى التى تقوم بها فطرة الخميرة ، حتى أنه يمكن تمثيلها بمعادلة واحدة هى المعادلة السابقة . وتزداد الأدلة على تطابق العمليتين يوماً بعد يوم ، حتى أن بعض الباحثين يستعمل كلمة التخمر للدلالة على التنفس اللاهوائى ، إلا أن ما جرى عليه العرف هو أن يقتصر استعمال لفظ « التنفس اللاهوائى » على العمليات اللاهوائية فى النباتات الراقية ، واستعمال « التخمر » للدلالة على مثيلاتها فى النباتات الدنيئة كفطريات الخميرة والبكتيريا .

وتختلف النباتات من حيث درجة تحملها لغياب الأكسيجين وحدوث التنفس اللاهوائى فى أنسجتها ، فبعض النباتات أو الأعضاء النباتية تستطيع أن تعيش فى هذه الظروف لمدة طويلة ، ولكن البعض الآخر يفقد حيويته خلال يوم أو يومين . فبادرات الذرة مثلا لا تستطيع أن تبقى حية لأكثر من يوم واحد فى غياب الأكسيجين ، أما ثمار التفاح والكمثرى فتستطيع تحمل الظروف اللاهوائية فترة طويلة دون أن تضار ، وهناك على الأقل عاملان ينتج عنهما التأثير الضار للتنفس اللاهوائى فى الأنسجة : أولهما ضآلة القدر المنطلق من الطاقة من هذا النوع من التنفس إذا قورن بما ينطلق منها فى أثناء التنفس الهوائى . فقد قدر ما ينتج عن استهلاك جزىء من الهكسوز فى التنفس اللاهوائى بحوالى (٢٥–٢٨) كجم سعر ، فى حين ينتج عن تأكسد نفس الجزىء تأكسداً تاماً فى عملية التنفس الهوائى ٦٧٤ كجم سعر . أما العامل الثانى فهو

تراكم نواتج التنفس اللاهوائى كالكحول وغيره من المواد ذات التأثير السام فى البروتوبلازم إلى درجة تؤثر فى حيويته . ولعل قصر فترة تحمل الأنسجة الناشطة لغياب الأكسيجين ترجع إلى حاجة سائر عملياتها الحيوية إلى قدر كبير من الطاقة لا يمكن استيفاؤه من التنفس اللاهوائى .

والتنفس اللاهوائى – الذى يعتبر ظاهرة مؤقتة فى أنسجة النباتات الراقية تقوم به عندما تحرم من الأكسيجين – يكاد يكون الوسيلة الوحيدة للحصول على الطاقة فى كثير من الكائنات الدقيقة ، ويعرف التنفس اللاهوائى فى هذه الحالة بالتخمر ، وأهم كائنات التخمر فطرة الخميرة التى تقوم بعملية التخمر الكحولى كما سبق أن ذكرنا . وتعتبر عملية التخمر الكحولى أهم عمليات التخمر المعروفة ، وهى تشبه – إن لم تكن تطابق تماماً – عملية التنفس اللاهوائى فى النباتات الراقية .

وهناك أنواع من البكتيريا يمكنها أن تعيش بمعزل عن الأكسيجين أو فى وجود تركيزات منخفضة منه ، ومن ثم يكون تنفسها العادى لا هوائياً ، ومن أمثلتها بـــكتيريا حمض اللاكتيك (Lactic–acid bacteria) وبكتيريا حمض البيوتريك (Butyric–acid bacteria) ، وتشتمل عمليـــة التنفس اللاهوائى فى البكتيريا الأولى على تخمير الجلوكوز أو الجالاكتوز إلى حمض اللاكتيك ومن ثم كان اشتقاق اسمها ، والمعادلة الآتية توضح التفاعل الذى يحدث :

تخمر

ك٦ يد١٢ ا٦ ————→ ٢ كيد٣ . كيد ا يد . ك ا ا يد + ٢١ كجم سعر

(بكتيريا اللاكتيك)　　(حمض اللاكتيك)

ويسبب أحـــد أنواع بكتيريا اللـــبن « ستربتوكوكس لاكتس » (Streptococcus lactis) الترويب العادى للبن .

أما بكتيريا حمض البيوتريك فينتج عن تخميرها للسكر السداسى (هكسوز) حمض البيوتريك وثانى أكسيد الكربون والإيدروجين كما فى المعادلة الآتية :

تخمر

ك$_{٦}$يد$_{١٢}$ا$_{٦}$ ————← كيد$_{٣}$. كيد$_{٢}$. ك يد$_{٢}$ كاايد+ك$_{٢}$ ا+٢ يد$_{٢}$+ طاقة

(بكتيريا البيوتريك)   (حمض البيوتريك)

وقد يتكون مع هذه النواتج مركبات إضافية أخرى مثل حمض اللبنيك وحمض الخليك والكحول الإيثيلى والميثيلين . وتختلف بكتيريا حمض البيوتريك عن بكتيريا حمض اللاكتيك فى أنها لا هوائية بحتة ، بمعنى أنها لا تنمو إلا فى غياب الأكسيجين . ومن أهم أنواعها بكتيرة الكلوستريديم (Clostridium) ، التى تسبب الطعم والرائحة الكريهة للزبد واللبن ولها أهمية اقتصادية فى نضج الجبن .

آلية التنفس

إن التنفس الهوائى العادى ، الذى يشتمل على تأكسد المواد الكربوإيدراتية وغيرها من المواد العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، لايمكن أن يتم فى خطوة واحدة ، بل فى عدة خطوات متعاقبة يساعد كلا منها إنزيم معين .

ونظراً لأن الكحول يتراكم فى كثير من النباتات عند تنفسها لاهوائياً فقد رجح فيفر (Pfeffer) وجود ارتباط وثيق بين نوعى التنفس الهوائى واللاهوائى فى أنسجة النباتات الراقية ، فافترض أن التنفس الهوائى يتم على مرحلتين ، تتضمن الأولى تجزؤ السكر إلى الكحول الإيثيلى وثانى أكسيد الكربون ، وتتضمن الثانية تأكسد الكحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء . وأولى هاتين المرحلتين لاتتطلب وجود الأكسيجين ، وعلى ذلك ففى الظروف اللاهوائية تجرى التفاعلات التى ينتج فى نهايتها الكحول الإيثيلى ، أما المرحلة الثانية فالأكسيجين شرط أساسى لإتمامها .

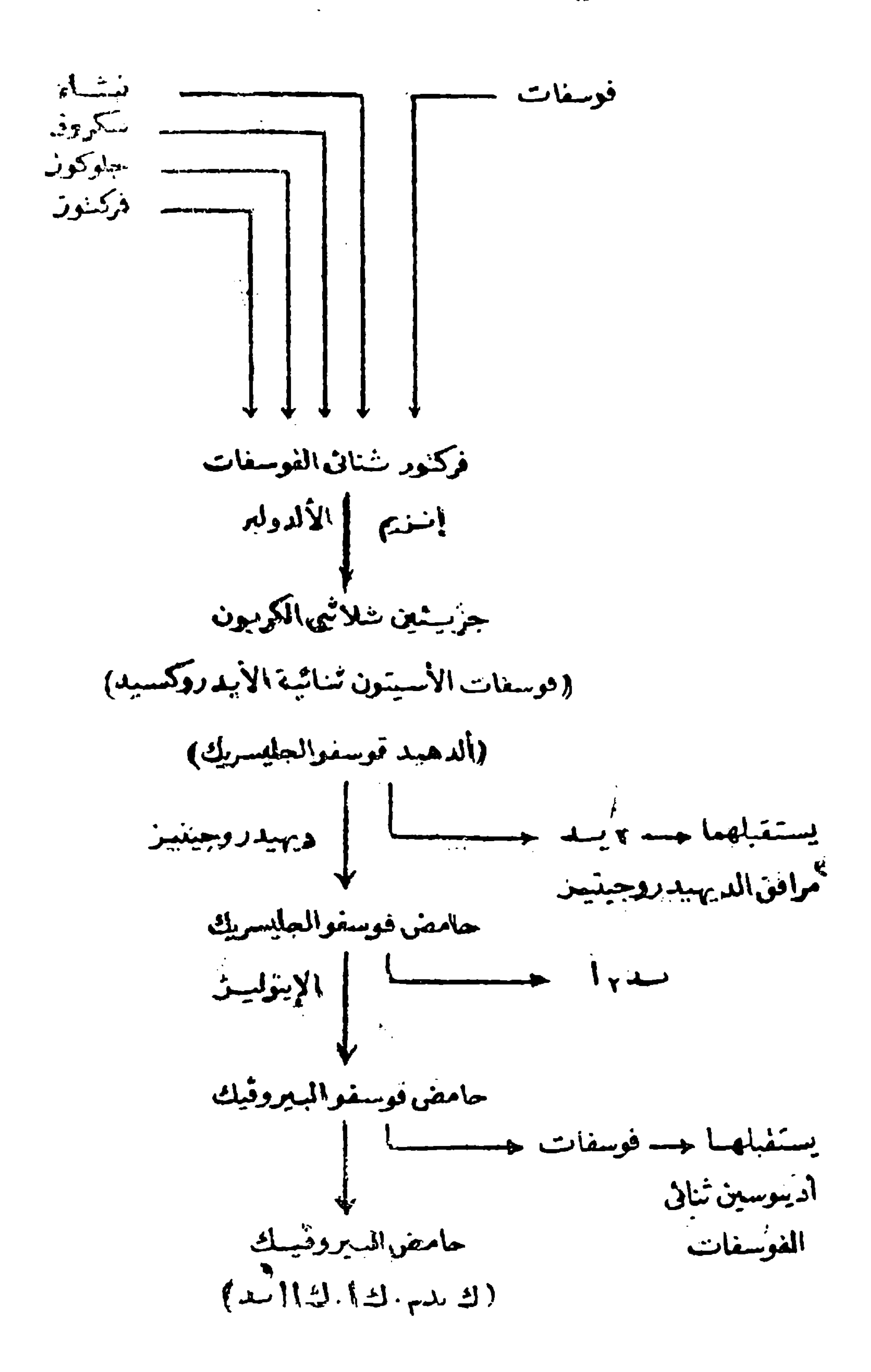
غير أنه لما تعذر إثبات تراكم الكحول فى بعض النباتات — كالبطاطس مثلا — فى الظروف اللاهوائية ، بالإضافة إلى ما ثبت من أن تأكسد الكحول الإيثيلى فى الخلايا النباتية ليس سهلا ، فقد عدل عن الرأى السابق ، ووضع -

كوستيشيف (Kostychev) نظرية أخرى مؤداها أن التنفس الهوائى واللاهوائى (أو التخمر الكحولى) تتم فى عدة خطوات تتكون فيها نواتج وسطية مؤقتة . هذه النواتج الوسطية تتحول فى غياب الأكسيجين إلى ثانى أكسيد الكربون والكحول ، أما فى وجوده فإنها تتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، أى أن الخطوات الأولى هى خطوات عامة مشتركة يعتمد سير التفاعل بعدها على وجود الأكسيجين أو غيابه . وتعرف المرحلة المشتركة بين نوعى التنفس بالمرحلة اللاهوائية المشتركة أو مرحلة الانشطار الجليكولى (Glycolysis) وخطواتها مشتركة أيضاً مع عملية التخمر الكحولى . أما المرحلة الختامية للتنفس – والتى تتضمن تحول حمض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء – فيطلق عليها إسم المرحلة الهوائية .

المرحلة اللاهوائية للتنفس : وتعرف أيضاً بمرحلة الانشطار الجليكولى (Glycolysis) وتبدأ بتحول السكرات – سواء أكانت حرة أم متكثفة – إلى سكر سداسى ترتبط به مجموعتان من الفوسفات ، وهو الفركتوز ثنائى الفوسفات ، وتتم فى العادة فسفرة المادة السكرية على حساب مركبات غنية بالطاقة (أدينوسين ثلاثى الفوسفات) . بعد ذلك ينشطر هذا الجزىء سداسى ذرات الكربون إلى جزيئين يحتوى كل منهما على ثلاث ذرات من الكربون وهما فوسفات الأسيتون ثنائى الإيدروكسيد والدهيد فوسفو الجليسريك . والمركب الأول لايدخل فى التفاعل بل يتحول تباعا إلى المركب الثانى كلما قلت نسبته فى الخليط .

يتحول ألدهيد فوسفو الجليسريك بعد ذلك إلى حمض فوسفو الجليسريك وهذا بدوره يتحول إلى حمض فوسفو البيروفيك ثم إلى حمض البيروفيك . وينتج فى أثناء هذه الخطوات جزيئان من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ، يتكون الأول فى الخطوات التفصيلية المؤدية إلى تكون حمض فوسفو الجليسريك ويتكون الثانى فى الخطوة الأخيرة المؤدية إلى تكون حمض البيروفيك ، كما ينتج جزىء مختزل من المرافق الإنزيمى نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد

مخطط يبين خطوات المرحلة اللاهوائية للتنفس



(ن ا ث . يد$_2$) وبذلك تكون المرحلة اللاهوائية للتنفس قد تمت . وفى الصفحة السابقة مخطط يوضح تتابع الخطوات التى يساعد كلا منهما إنزيم معين .

وبانتهاء هذه الخطوات يكون قد نتج عن تكسير جزىء واحد من الفركتوز ثنائى الفوسفات جزيئان من حمض البيروفيك وجزيئان من المرافق الإنزيمى المختزل ، وجزيئان من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ، ويمكن توضيح ذلك بالمعادلتين الآتيتين :

ك$_6$ يد$_{12}$ ا$_6$ + ٢ ن ا ث ⟵ ٢ ك يد$_3$. ك ا . ك اا يد + ٢ ن ا ث . يد$_2$

٢ يد$_3$ فو ا$_4$ + ٢ أدين – ٢ – فو ⟵ ٢ أدين – ٣ – فو + يد$_2$ ا

خطوات تكوين الكحول من حمض البيروفيك فى التخمر الكحولى والتنفس اللاهوائى :

تبدأ هذه الخطوات بأن يفقد جزىء حمض البيروفيك جزيئاً من ثانى أكسيد الكربون ويتحول إلى الأسيتالدهيد . ويساعد هذا التفاعل إنزيم الكاربوكسيليز :

(كاربوكسيليز)

ك يد$_3$. ك ا . ك اا يد ⟵―――――― ك يد$_3$. ك يد ا + ك ا$_2$

(الأسيتالدهيد)

ثم يختزل الأسيتالد هيد بعد ذلك إلى الكحول الإيثيلى على حساب ذرتى الإيدروجين اللتين استقبلهما مرافق الديهيدروجينيز فى الخطوة الثانية من المرحلة اللاهوائية للتنفس ، ويتم هذا التفاعل فى وجود ديهيدروجينيز الكحول كما يلى :

ديهيدروجينيز

ك يد$_3$. ك يدا + ن ا ث . يد$_2$ ⇄ ك يد$_3$. ك يد$_2$. ايد + ن ا ث

المرافق الإنزيمى المختزل ... الكحول الإيثيلى ... المرافق الإنزيمى

وبتكون الكحول تنتهى خطوات التخمر الكحولى أو التنفس اللاهوائى وتكون النواتج النهائية لتفكك جزىء من الهكسوز فى كل من العمليتين هى جزيئان من ثانى أكسيد الكربون وجزيئان من الكحول الإيثيلى ، وذلك كما تعبر عنه المعادلة العامة التالية :

جلوكوز + ٢ أدينوسين ثنائى الفوسفات + ٢ فوسفات ←

٢ كحول إيثيلى + ٢ ك ا٢ + ٢ أدينوسين ثلاثى الفوسفات + ٢ يد٢ا

ويرجع الفضل فى معرفة معظم هذه الخطوات إلى ثلاثة من العلماء هم إمبدين (Embden) وما يرهوف (Myerhof) وبارناس (Parnas) ومن ثم أطلق عليها مسلك (امب) وهى الحروف الأولى من أسمائهم (EMP Pathway) وعلى الرغم من أن الخطوات اللاهوائية لتكسير الجلوكوز تمثل المسلك الرئيسى لتحويل الكربوإيدرات إلى حمض البيروفيك فإن هناك مسالك أيضية أخرى تؤدى إلى تكوين ثانى أكسيد الكربون . ومن هذه المسالك مسلك فوسفات البنتوز (Pentose phosphate pathway) . وقد تأيد وجود هذا المسلك باستعمال أيودوالخلات والزرنيخيت والفلورايد المعروفة بتثبيطها لخطوات المسلك الجليكولى (Glycolytic pathway) ، حيث أتضح أنها لا توقف تكسير السكر تماماً . ويمكن تمثيل مسلك فوسفات البنتوز بالمعادلة الآتية :

جلوكوز — ٦ — فوسفات + ن ا ث فو ←

ريبيولوز — ٥ — فوسفات + ك ا٢ + ن ا ث فو . يد٢

(سكر خماسى)

ثم يتأكسد السكر الخماسى بعد ذلك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء فى خطوات دائرية معقدة تتضمن عدداً من السكرات الخماسية ، وسكراً سباعى الكربون وآخر رباعى الكربون ، وفى أثناء هذه التحولات تنطلق ذرات الإيدروجين (أو الإلكترونات) حيث يستقبلها المرافق الإنزيمى ن ا ث فو ، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الآتية :

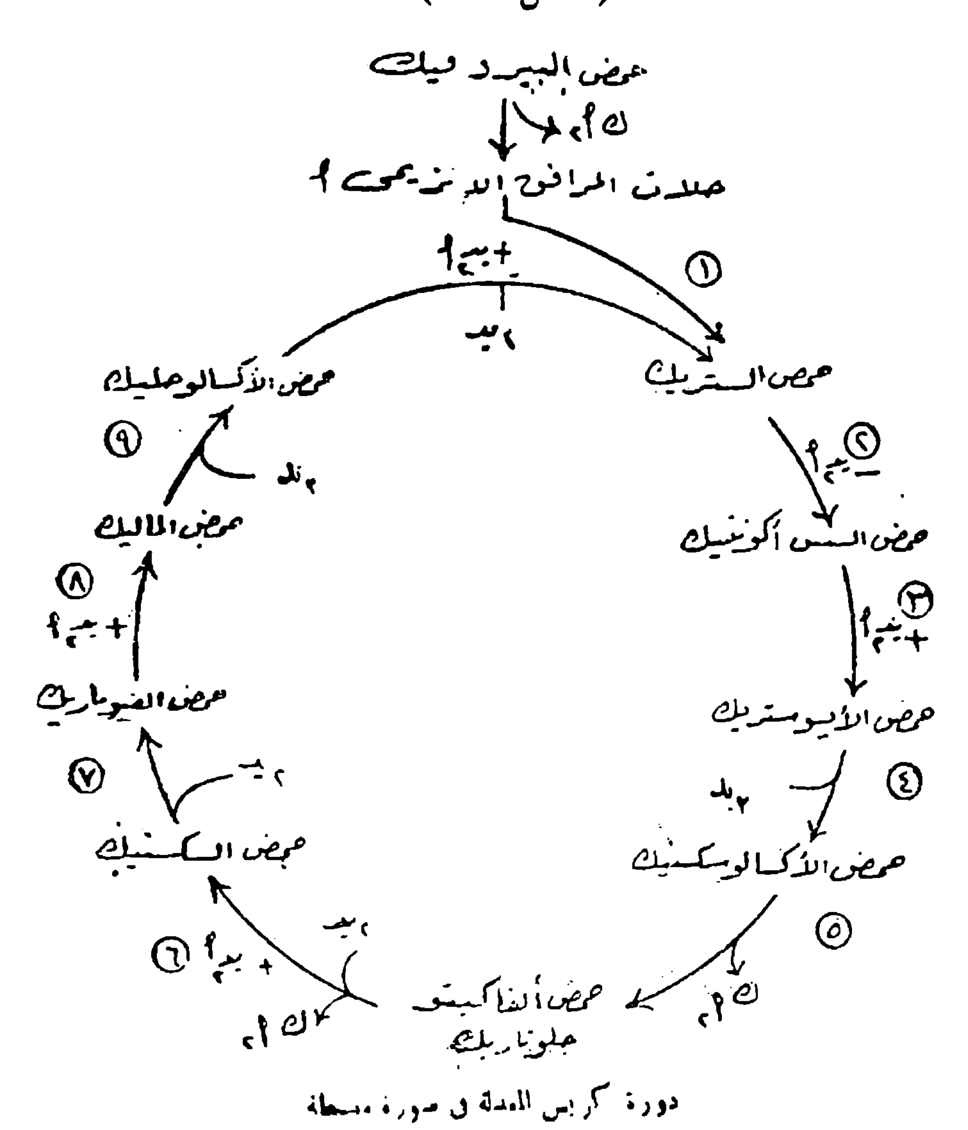
ريبيولوز - ٥ - فوسفات + ١٠ ن ا ث فو ←

٥ ك ا٢ + ١٠ ن ا ث فو . يد

المرحلة الهوائية للتنفس : فى هذه المرحلة يتأكسد حمض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء . ويتم ذلك عن طريق سلسلة دائرية من التفاعلات اقترحها واستدل على وجودها العالم الإنجليزى كربس ، ولذلك سميت دورة كربس (Krebs cycle) ، وهى موضحة فى (شكل ٣٦٤) .

وتبدأ مجموعة التفاعلات الدائرية بفقد حمض البيروفيك لجزىء من ثانى أكسيد الكربون وتكوين مركب يحتوى على ذرتين من الكربون ، لايلبث أن يتحول إلى خلات المرافق الإنزيمى (Acetyl CoA) على حساب أدينوسين

(شكل ٣٦٤)



دورة كربس المعدلة فى صورة مبسطة

ثلاثى الفوسفات . ثم يتحد هذا المركب بمجرد تكونة مع جزىء من حمض الأكسالوخليك (Oxalo-acetic acid) ، ويتكون نتيجة لهذا الاتحاد جزىء من حمض ثلاثى الكاربوكسيل هو حمض الستريك (Citric acid) . يدخل جزىء هذا الحمض الكبير بعد ذلك فى سلسلة من التفاعلات يتكون خلالها حمض السس أكونيتيك (Cis aconitic acid) ، وحمض الأيسوستريك (Isocitric acid) ، وحمض ألفا كيتوجلوتاريك (*a*-Keto-glutaric acid) ، وحمض السكسينيك (Succinic acid) .

وتنتهى الدورة بإعادة تكوين حمض الأكسالوخليك الذى يدخل فى التفاعلات من جديد ، وبذلك يكون قد تأكسد جزىء من حمض البيروفيك تأكسداً تاماً . والنتيجة النهائية لهذه الدورة من التفاعلات هى انطلاق ثلاثة جزيئات من ثانى أكسيد الكربون فى الخطوات التى تتكون فيها أحماض الستريك وألفاكيتوالجلوتاريك والسكسينيك . كذلك تشتمل الدورة على خمسة تفاعلات ينتقل فى كل منها ذرتان من الإيدروجين من جزىء الحمض العضوى إلى جزىء مركب آخر يقوم بدور المستقبل الإيدروجينى (المرافقات الإنزيمية للدهيدروجنيزات وجزىء السيتوكروم)، هذه الجزيئات المختزلة لاتتراكم بل تتأكسد بمساعدة الأكسيديزات التى تنقل الإيدروجين إلى الأكسيجين الجوى ، وواضح أن ذلك يتطلب استهلاك خمس ذرات من الأكسيجين لتكوين خمسة جزيئات من الماء ، ولما كانت بعض تفاعلات الدورة تستنفد منها ثلاثة جزيئات (التفاعلات ١ ، ٦ ، ٨) فإن الباقى منها يكون جزيئين فقط ، وتلخص المعادلة الآتية هذه المرحلة الهوائية من التنفس :

ك يد$_{٣}$. كا . كاايد + ٢ ½ ا$_{٢}$ ← ٣ ك ا$_{٢}$ + ٢ يد$_{٢}$ ا + طاقة
(حمض البيروفيك)

ومن الجدير بالذكر أن جزىء المرافق الإنزيمى الذى اختزل فى الخطوة الثانية من المرحلة اللاهوائية للتنفس (التى تؤدى إلى تكون حمض البيروفيك) يتأكسد فى وجود الهواء ، وتستخدم فى هذه الأكسدة ذرة من الأكسيجين

وينتج عنها جزيء من الماء . فإذا أضيف ذلك إلى ما سبق أصبحت العمليات المؤدية إلى تكوين جزيء واحد من حمض البيروفيك واحتراقه احتراقاً تاماً تتطلب استعمال ثلاثة جزيئات من الأكسيجين وخروج ثلاثة جزيئات من الماء ولما كان جزيء الهكسوز يعطي جزيئين من حمض البيروفيك فإن مجموعة التفاعلات التي تشتمل عليها عملية التنفس يمكن إجمالها في المعادلة الآتية :

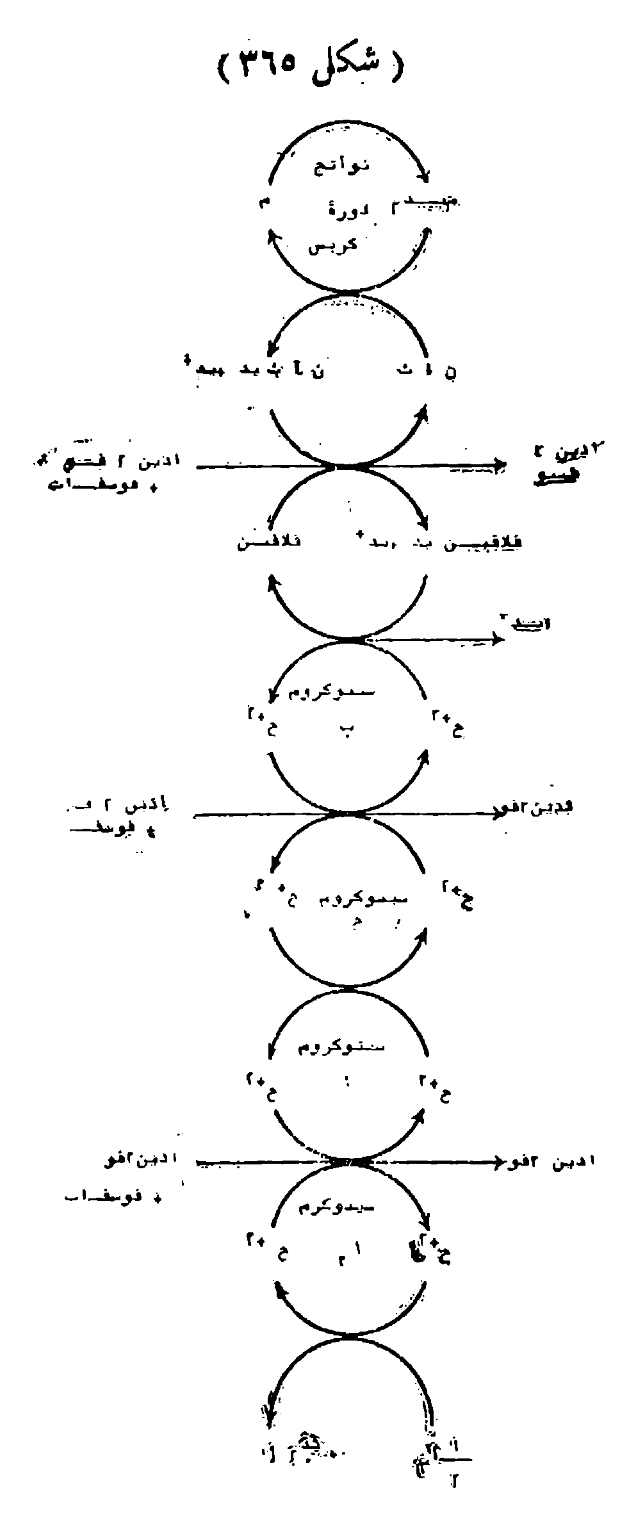
$$ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦} + ٦ ا_{٢} \longrightarrow ٦ ك ا_{٢} + ٦ يد_{٢}ا + طاقة$$

التأكسد الختامي وانطلاق الطاقة :

لاحظنا أثناء دورة كربس أن الانطلاق المرحلي لذرات الإيدروجين يؤدي إلى تكوين مرافقات إنزيمية مختزلة وخاصة (ن ا ث) و (ن ا ث فو) وفلافين أدنين ثنائي النيوكليوتيد (ف ا ث) . ويتضمن التأكسد الختامي تحت الظروف الهوائية انتقال ذرات الإيدروجين والإلكترونات إلى الأكسيجين ويقترن هذا التأكسد الختامي بتكوين أدينوسين ثلاثي الفوسفات الذي ينتج معظمه في هذه المرحلة من التنفس الهوائي . وتتم هذه العملية في الميتوكوندريات ويطلق عليها الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) ويمكن تمثيل التأكسد الختامي . كما في الشكل (٣٦٥) :

ويمثل م $يد_{٢}$ أحد النواتج الوسيطة في دورة كربس ، ومنه ينتقل الإيدروجين في خطوات متتابعة عبر المرافقات الإنزيمية المحتوية على مجموعة الفلافين والسيتوكروم ، وفي المرحلة الختامية يتحد الأكسيجين مع الإيدروجين مكوناً الماء وذلك بفعل إنزيم أكسيديز السيتوكروم . وفي كل خطوة من خطوات انتقال الإلكترونات ينخفض مستوى الطاقة ، ويستغل فرق الطاقة في تكوين روابط فوسفورية غنية بالطاقة وذلك بتحويل أدينوسين ثنائي الفوسفات إلى أدينوسين ثلاثي الفوسفات . ومع انتقال زوج من الإلكترونات عبر هذه المجموعة يتكون ثلاثة جزيئات من أدينوسين ثلاث الفوسفات وذلك عند تأكسد ن ا ث . يد والسيتوكروم ب والسيتوكروم ا .

(شكل ٣٦٥)



انتقال الالكترونات عبر سلسلة تبدأ من ن ا ت فو
وتنتهي بالاكسجين الجوى (عن ديفلين روثام ١٩٨٣)

ويبلغ عدد جزيئات أدينوسين ثلاثى الفوسفات التى تتكون عند التأكسد التام لجزىء من الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ٣٨ جزيئا يختزن فيها نسبة كبيرة من الطاقة التى تستخدم فى دفع عجلة العمليات التى تتطلبها .

يتضح مما سبق أن عملية التأكسد وانطلاق الطاقة لاتتم فى تفاعل واحد ، ولكن فى عدد من التفاعلات المتتابعة ، ومعظم الطاقة المنطلقة تنتج فى المرحلة الهوائية للتنفس ، وخاصة فى أثناء التفاعلات التى تشتمل على انتقال الإيدروجين والالكترونات ، كذلك يتضح أن الأكسيجين المستخدم فى التنفس لايتحد مباشرة مع المادة الكربوإيدراتية أو غيرها من المواد العضوية ولكنه يشترك فى الخطوات النهائية حيث يتكون الماء .

الباب الخامس والثلاثون

البناء الضوئى

غذاء النبات ومصادره :

ينفرد النبات الأخضر بالطريقة التى يبنى بها غذاءه ، فهو يحصل من البيئة المحيطة به على مواد غير عضوية بسيطة التركيب . ومن تلك المواد يبنى المركبات العضوية المعقدة الغنية بالطاقة . وهو – من هذه الناحية – يختلف عن الحيوان والنبات غير الأخضر اللذين يعتمدان فى غذائهما على هذا النبات الأخضر أو بقاياه . وفى الحقيقة يعتبر النبات الأخضر أساس التكوين العضوى على الأرض ولا يشاركه فى ذلك غير أنواع قليلة من البكتيريا ، وكثير منها لا يقوم بهذا العمل إلا إذا خلت بيئتها المباشرة من المواد العضوية .

وأهم ما يبنيه النبات من المركبات المعقدة المواد الكربوإيدراتية والبروتينية والدهنية التى تكون غذاءه الأساسى ، وقد تكون بعض المواد الأخرى كالأحماض العضوية والجليكوسيدات وبعض الأصباغ جانباً ضئيلا من هذا الغذاء . وتؤدى تلك المواد الغذائية وظيفتين ، فهى مصدر للطاقة اللازمة لسائر العمليات الحيوية ، كما أنها تستخدم فى بناء البروتوبلازم والأصباغ والإنزيمات وغيرها من المركبات الخلوية .

وبالإضافة إلى المواد الكربوإيدراتية والدهنية والبروتينية ، التى تستخدم بكميات كبيرة ، توجد مركبات عضوية خاصة يحتاج الكائن الحى منها إلى كميات ضئيلة جداً ، ومن أمثلتها الفيتامينات وهرمونات النمو ، وهذه المواد لا تستخدم فى الحصول على الطاقة ولكنها لازمة لإتمام تحولات غذائية خاصة .

وقد أظهر التحليل الكيميائى أن عناصر معينة تدخل فى تركيب المركبات التى يتكون منها جسم النبات ، وهذه العناصر هى : الكربون والإيدروجين

والأكسيجين والنيتروجين والكبريت والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والحديد والبورون والمنجنيز والزنك والنحاس وغيرها ، وجميعها لازمة لغذاء النبات واكتمال نموه . ويحصل النبات على عنصر الكربون من الجو المحيط به فى صورة غاز ثانى أكسيد الكربون ، وذلك بوساطة أجزائه الهوائية ، أما العناصر الأخرى فيحصل عليها فى صورة مركبات بسيطة يمتصها من التربة عن طريق جذوره .

وتعرف العمليات التى تؤدى إلى بناء المركبات المعقدة الغنية بالطاقة من المواد الأولية بعمليات الأيض البنائى (Anabolism) وهى ليست كل ما يحدث فى النبات من عمليات بل تحدث إلى جوارها عمليات أيض هدمى (Katabolism) تنطلق فى أثنائها الطاقة الكامنة فى المركبات المعقدة نتيجة تفككها إلى مكوناتها البسيطة ، وأهم عمليات البناء التى تتم فى النبات الأخضر هى تلك التى تستخدم فيها الطاقة الشمسية وتتكون فى أثنائها المواد الكربوإيدراتية ، وتعرف « بالبناء الضوئى » . أما أهم عمليات الهدم فهى عملية « التنفس » التى تعتبر إحدى خصائص الخلايا الحية ، وقد تناولناها بالتفصيل فى الباب السابق . ويعبر عن مجموعة عمليات الأيضين البنائى والهدمى التى تتم داخل الخلية الحية « بالتحول الغذائى أو الأيض » (Metabolism) ، ويكون التوازن بينهما عادة فى صالح البناء فى أثناء نمو النبات .

ماهية البناء الضوئى :

تشمل عملية البناء الضوئى (Photosynthesis) — التى تتميز بها النباتات الخضراء دون غيرها من الكائنات الحية — على امتصاص الطاقة الضوئية بوساطة صبغها الأخضر (الكلوروفيل) وتحويلها إلى طاقة كيميائية تستغلها فى بناء مواد كربوإيدراتية خاصة من الماء وثانى أكسيد الكربون ، وينطلق الأكسيجين فى أثناء هذه العملية . ويحصل النبات على الماء من التربة ، أما ثانى أكسيد الكربون فيأخذه من الهواء الجوى . ويطلق على هذه العملية أحياناً

اسم « التمثيل الكربونى » (Carbon assimilation) ، نظراً لما تنطوى عليه من استعمال الكربون فى تمثيل المواد الكربوإيدراتية ويعبر عنها عادة بالمعادلة الآتية :

(٦٧٤ كجم سعر من الطاقة الإشعاعية)

$$\text{٦ ك ا}_{٢} + \text{٦ يد}_{٢}\text{ا} \longrightarrow \text{ك}_{٦}\text{يد}_{١٢}\text{ا}_{٦} + \text{٦ ا}_{٢}$$

(خلايا خضراء)

أى أن تكون جزء من سكر سداسى (سكر هكسوز $\text{ك}_{٦}$ $\text{يد}_{١٢}$ $\text{ا}_{٦}$) يتطلب ستة جزيئات من ثانى أكسيد الكربون وستة جزيئات من المـاء وامتصاص كمية من الطاقة تبلغ ٦٧٤ كجم سعر ، وهى نفسها التى تنطلق عندما يتفكك هذا الجزىء فى أثناء عملية التنفس ليستفيد منها النبات فى سائر عملياته .

ومما تجدر الإشارة إليه أن المعادلة السابقة لا توضح آلية عملية البناء الضوئى ، ولكنها تعد بمثابة تعبير رمزى عن التغيرات النهائية لها . ورغم أنه من المتفق عليه التعبير عن المادة الكربوإيدراتية المتكونة بسكر سداسى إلا أنه — كما سنرى فى نهاية هذا الباب — ليس الناتج الأول للعملية ، كذلك يعتبر ما أثبتته الأبحاث الأخيرة من ضرورة اشتراك إثنى عشر جزيئاً من الماء فى التفاعل ، وخروج ستة جزيئات منه غير أساسى فى التعبير العام عن عملية البناء ، ولكنه جوهرى فى تبين آلية التفاعل ، كما سيتضح فيما بعد .

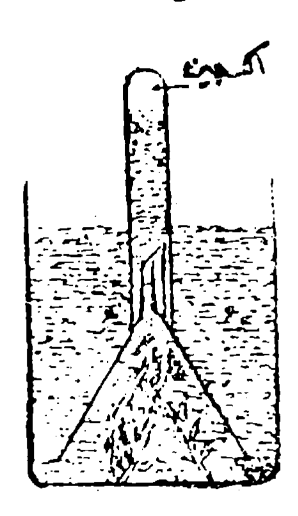
ولما كانت أهمية البناء الضوئى ليست مقصورة على النباتات فحسب بل هى فى الحقيقة أساس وجودنا ، فقد قدر بعض الباحثين كمية الكربون التى تثبتها النباتات الخضراء سنوياً بمقدار (١٠,٨ × ١٠^١٠) طناً من الكربون ، وتعادل هذه القيمة (٢٧ × ١٠^١٠) طناً من الجلوكوز ، أو (٣٩,٦ × ١٠^١٠) من ثانى أكسيد الكربون ، تقوم النباتات البحرية بتمثيل ٨٥٪ منها تقريباً .

وفى النباتات الراقية تتم غالبية البناء الضوئى فى أوراقها الخضراء ، التى تتركب بطريقة تجعلها قادرة على القيام بهذه الوظيفة على الوجه الأكمل .

فسطوحها المنبسطة الكبيرة - بالنسبة لحجمها - تعرض قدراً كبيراً من خلاياها الخضراء لأشعة الشمس ، كذلك تسهل المسافات البينية الواسعة التى تفصل بين خلاياها انتشار ثانى أكسيد الكربون خلال أنسجة الورقة ووصوله إلى كل خلية ، ومن ثم يزيد السطح الماص لثانى أكسيد الكربون زيادة كبيرة ، ومعظم ثانى أكسيد الكربون الذى تمتصة خلايا النسيج الوسطى من المسافات البينية يدخل إليها عن طريق الثغور ، فعندما تكون الثغور منفتحة يدخل ثانى أكسيد الكربون وينتشر فى المسافات البينية ، وحينما يذوب فى الماء المشبع لجدر خلايا النسيج الوسطى يتفاعل جزء منه مع الماء مكوناً حمض الكربونيك (يد٢ ك ا٣) ، ويصل بعد ذلك إلى البلاستيدة الخضراء على هذه الصورة أو على صورة ذائبة .

ويمكن الاستدلال على قيام عملية البناء الضوئى فى النباتات الخضراء باستعمال نبات مائى كالإلوديا ، فإذا وضعت قطعة من هذا النبات فى ماء مذاب به ثانى أكسيد الكربون أو بيكربونات البوتاسيوم وعرضت لضوء الشمس شوهدت فقاعات غازية تتصاعد من سطح القطع (شكل ٣٦٦) . فإذا جمعت هذه الفقاعات وكشف عنها تبين أنها أكسيجيناً . كذلك يمكن الاستدلال على تكوين مادة كربوإيدراتية كنتيجة لعملية البناء الضوئى بتعريض نبات أخضر للضوء بعد أن يترك فى الظلام مدة حتى تخلو أوراقه من النشا ، فإذا أجرى على إحدى أوراق هذا النبات كشف النشا بوساطة محلول اليود فإنها تتلون باللون الأزرق الدال على وجود النشــا .

(شكل ٣٦٦)



تجمع الأكسجين المتصاعد من النبات المائى (الودبا) فى أثناء عملية البناء الضوئى

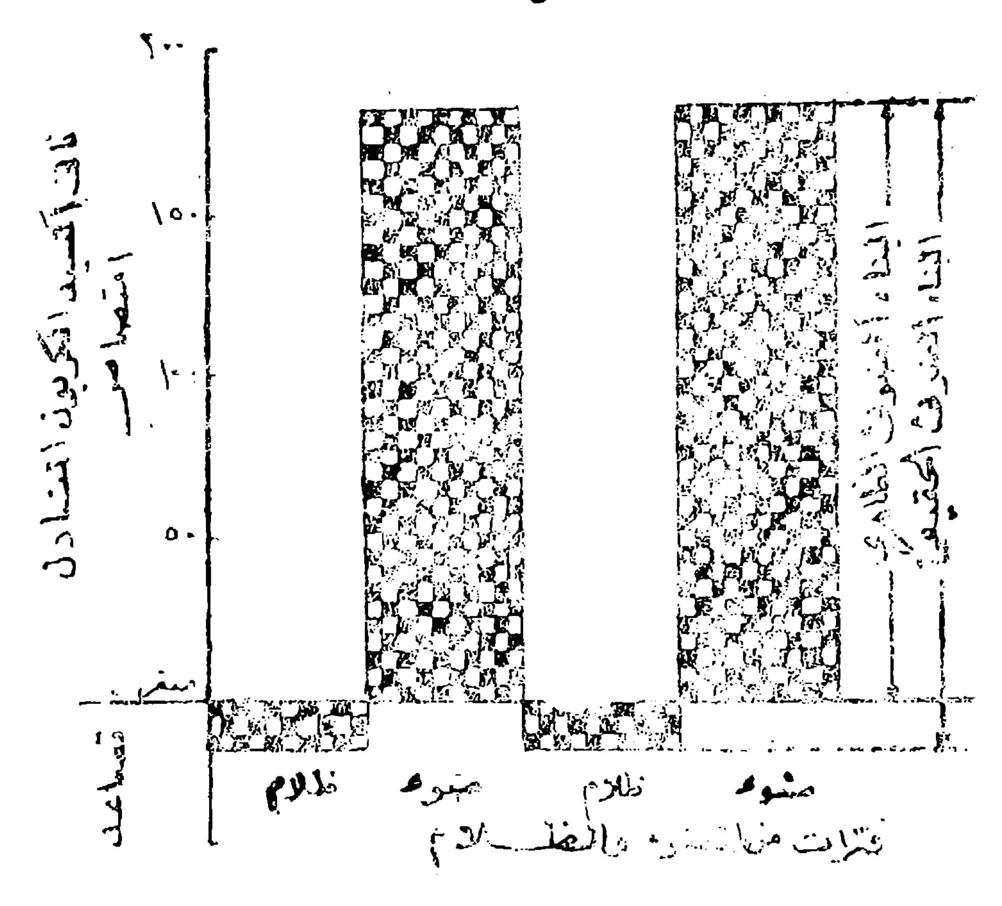
طرق تقدير سرعة البناء الضوئى :

تستعمل لتقدير سرعة البناء الضوئى طرق مختلفة تنطوى على تقدير كمية ثانى أكسيد الكربون الممتص أو الأكسيجين المتصاعد أو المادة الكربوإيدراتية الناتجة من العملية . غير

أن هذه الطرق تتعرض لخطأ استمرار التنفس فى الأنسجة أثناء قيامها بعملية البناء الضوئى ، فالتبادل الغازى الذى يصحب التنفس هو عكس ذلك الذى يصحب البناء الضوئى ، كما أن التنفس يؤدى إلى استهلاك المواد الكربوإيدراتية المتكونة ومن ثم إلى نقص الوزن الجاف . وعلى ذلك فالقيمة المقدرة للبناء الضوئى بأية طريقة تبنى على الأسس السابقة تكون أقل من قيمته الحقيقية ، ويطلق على هذه القيمة البناء الضوئى الظاهرى (Apparent photosynthesis) فإذا أضيف إليها قيمة الخطأ الناشىء عن التنفس فإننا نحصل بذلك على قيمة البناء الضوئى الحقيقى (Real photosynthesis) . ولما كانت سرعة البناء الضوئى تصل فى كثير من الأنسجة إلى عشرة أمثال سرعة التنفس أو أكثر ، فإن البناء الضوئى الظاهرى لا يقل كثيراً عن قيمته الحقيقية ، غير أنه إذا أريد تقدير القيمة الحقيقية للبناء الضوئى فإن النبات أو العضو النباتى يحجب عن الضوء مدة معينة يقاس فيها مقدار تنفسه ثم تضاف هذه القيمة إلى البناء الضوئى الظاهرى فى مدة مماثلة (شكل ٣٦٧) ، وهذا التصحيح فى حد ذاته تعوزه الدقة ، فسرعة تنفس الأنسجة الخضراء فى الضوء تختلف عنها فى الظلام ، ففى الضوء يؤدى البناء الضوئى إلى زيادة المحتوى الكربوإيدراتى ، وهذا بدوره يؤدى إلى زيادة سرعة التنفس .

وعند تقدير سرعة البناء الضوئى الظاهرى بطريقة التبادل الغازى يوضع النبات أو الجزء النباتى فى وعاء من الزجاج أو السيلوفين لا يمنع مرور الضوء إلى النبات ، ثم يمرر على النبات تيار مستمر من الهواء يحلل عند خروجه لمعرفة نسبة ثانى أكسيد الكربون أو الاكسيجين فيه بالمقارنة بنسبتهما فى الهواء الجوى ، وبذلك يمكن قياس سرعة البناء الضوئى . ولما كانت نسبة الأكسيجين فى الهواء الجوى عالية فإن الزيادة فى كميته الناتجة عن البناء الضوئى لن تكون بالدرجة التى يسهل تقديرها ، ولذلك فإن هذه الطريقة تعتمد على تقدير ثانى أكسيد الكربون المستهلك . ويتبع فى تقدير ما يستهلك من هذا الغاز طرق مختلفة ، تعتمد إحداها على إمرار الهواء عند خروجه من الوعاء الذى يحوى

(شكل ٣٦٧)



شكل يوضح أن ما يمتص من ثاني أكسيد الكربون في أثناء عملية البناء الضوئي الظاهري، يقل عن الكمية الكلية الممتصة بمقدار ما يتصاعد من هذا الغاز أثناء التنفس

النبات فى حجم معين من محلول قياسى لإيدروكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم حيث يمتص ثانى أكسيد الكربون ، ثم بمعادلة القلوى المتبقى بعد فترة معينة يمكن تقدير ما يحتويه الهواء من هذا الغاز . وقد استعمل بعض الباحثين فى تقديرهم لكمية ثانى أكسيد الكربون المستهلكة طريقة التغير فى التوصيل الكهربى ، وذلك بأن يمرر فى محلول قلوى هواء يحتوى على كميات مختلفة من الغاز ويرصد الانحراف الجلفانومترى فى كل حالة ، وعندما تجرى التجربة ويرصد الانحراف يمكن تعيين كمية ثانى أكسيد الكربون المستهلك من العلاقة السابقة .

ومعظم الدراسة التى أجريت على البناء الضوئى لم تستعمل فيها النباتات الراقية بل استعملت فيها مزارع الطحالب الخضراء وحيدة الخلية ، وخاصة

طحلب الكلوريللا (Chlorella) ، وتستخدم فى تقدير البناء الضوئى لهذه الطحالب طريقة مانومترية دقيقة ، استعملها فاربورج (Warburg) وغيره من الباحثين ، وفيها يوضع معلق الطحلب فى محلول من البيكربونات فى دورق زجاجى صغير يحكم على فوهته مانومتر ذو ساقين (شكل ٣٥٩) . وفى أثناء البناء الضوئى يمتص الطحلب ثانى أكسيد الكربون من البيكربونات ويتصاعد الأكسيجين الذى يمكن تقدير حجمه من تغير الضغط داخل المانومتر .

أما تقدير سرعة البناء الضوئى بتعيين الزيادة فى الوزن الجاف للأوراق بعد فترة من تعرضها للضوء فهى طريقة تقريبية أدخلها ساكس عام ١٨٦٠ ، وتعتمد على تعيين الوزن الجاف للورقة أو لمساحات معينة منها عند بدء التجربة ثم تعيين الوزن الجاف لمساحات مماثلة فى نهاية التجربة ، فيكون الفرق بين الوزنين هو قيمة الزيادة الناشئة عن البناء الضوئى . والخطأ فى هذه الطريقة ليس مرجعه إلى التنفس الذى يستهلك جزءاً من نواتج البناء فحسب ، وإنما مرجعه كذلك إلى انتقال هذه النواتج من الورقة فى أثناء فترة التجربة .

الكلوروفيل ، تركيبه وتكوينه وخواصه :

يعتبر اليخضور أو الكلوروفيل (Chlorophyll) عاملا أساسياً فى عملية البناء الضوئى ، فهو بامتصاصه للطاقة الضوئية يدفع الخلايا الحية إلى بناء المواد الكربوإيدراتية . ويوجد الكلوروفيل فى الخلية محمولا على أجسام البلاستيدات الخضراء ، ويمكن إستخلاصه من الأوراق الخضراء بأحد المذيبات العضوية كالإثير أو الأسيتون ، إذ أنه لا يذوب فى الماء . ومن الممكن أن يستخلص الكلوروفيل من الأوراق بغليها فى الكحول الإيثيلى ، إلا أن هذه الطريقة غير مرغوب فيها وذلك لحدوث تفاعل بين جزيئات الكلوروفيل والكحول يؤدى إلى تكون كلوروفيلليد إيثيلى يختلف عن الكلوروفيل الحقيقى . والكلوروفيل المستخلص من الأوراق يكون مرتبطاً مع البروتين ، وهو لا يؤدى وظيفته البنائية إلا وهو على هذه الصورة (جريجورى ومرافقوه ، ١٩٧١) .

وترجع تسمية المادة الخضراء بالكلوروفيل إلى أوائل القرن التاسع عشر ، غير أن الدراسة الصحيحة لخواصه الكيميائية والفيزيائية لم تبدأ إلا عام ١٩٠٦ نتيجة للأبحاث التي قام بها فيلشتاتر (Willstatter) ومساعدوه . فقد اتضح من هذه الأبحاث أن الكلوروفيل ليس مادة واحدة ، بل خليطاً من أربع مواد على الأقل ، اثنتان منها خضراوان أطلق عليهما اسم كلوروفيل « ا » (Chlorophyll a) وهو أخضر مشرب بزرقة ، وكلوروفيل « ب » (Chlorophyll b) وهو أخضر مشرب بصفرة وكلاهما موجود فى البلاستيدات الخضراء بنسبة ٣ : ١ تقريباً ، واثنتان صفراوان هما الكاروتين (Carotene) والزانثوفيل (Xanthophyll) ، ووضعت لهذه المواد الأربع الرموز الكيميائية الآتية : —

كلوروفيل « ا » ($\text{ك}_{٥٥}\,\text{يد}_{٧٢}\,\text{ا}_{٥}\,\text{ن}_{٤}\,\text{ما}$)

كلوروفيل «ب» ($\text{ك}_{٥٥}\,\text{يد}_{٧٠}\,\text{ا}_{٦}\,\text{ن}_{٤}\,\text{ما}$)

الكاروتين ($\text{ك}_{٤٠}\,\text{يد}_{٥٦}$)

الزانثوفيل ($\text{ك}_{٤٠}\,\text{يد}_{٥٥}\,\text{ا}_{٢}$)

وعلى حين لا يوجد الكلوروفيلان « ا » و « ب » منفصلين عن المادة الخضراء فى النبات ، فإن صبغي الكاروتين والزانثوفيل يوجدان على انفراد فى كثير من النباتات . فالكاروتين مثلا يوجد فى جذور الجزر ويكسبها لوناً برتقالياً ، كذلك يوجد الزانثوفيل فى بتلات كثير من الأزهار .

والكلوروفيل — وخاصة كلوروفيل « ا » هو مادة الامتصاص الرئيسية للضوء ، وهو الذى يبدأ تفاعلات البناء الضوئى . والأصباغ الكاروتينية لها نفس كفاءة الكلوروفيل فى امتصاصها للضوء ، ويبدو أن لها دورين رئيسين فى البناء الضوئى هما : —

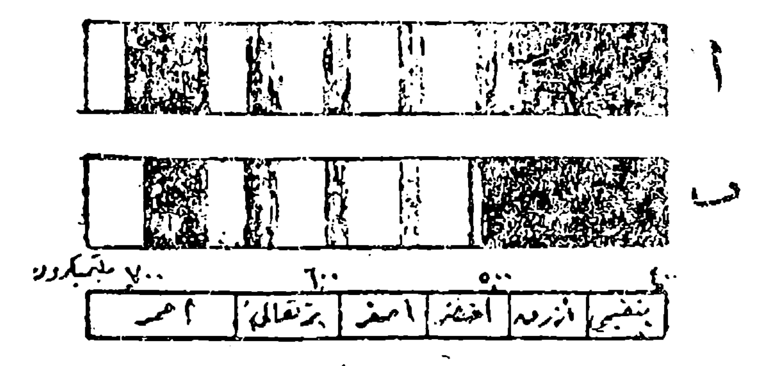
١ — الضوء الذى يمتصه صبغ بيتا كاروتين ينتقل كله إلى الكلوووفيل .

٢ — الحيلولة دون التأكسد الضوئى للكلوروفيل وخاصة فى الضوء الساطع

ويتميز الكلوروفيل — كغيره من الأصباغ — بامتصاصه لموجات معينة من الطيف المنظور ، فإذا ما توسط محلول الكلوروفيل مصدراً أبيض للضوء وجهاز الاسبكتروسكوب ظهر أن الأشعة فى المنطقة الحمراء والزرقاء البنفسجية تكاد تكون ممتصة امتصاصاً كاملا ، ولذلك تبدو هاتان المنطقتان فى الطيف الامتصاصى مظلمتين (شكل ٣٦٨) ، أما الأشعة فى المنطقة الصفراء والخضراء فقد نفذت خلال المحلول دون أن يمتص منها قدراً يذكر ، ومن ثم كان اللون الأخضر المميز لمحلول الكلوروفيل حين يمر فيه ضوءاً أبيض . والطيف الامتصاصى للكلوروفيل وهو فى المحلول لا ينطبق تمام الانطباق على طيف الورقة الحية ، إذ يزيد عادة امتصاص الورقة للضوء من المناطق التى يكون امتصاص المحاليل منها عالياً . ومرد ذلك إلى أن الصبغ يوجد فى الورقة مركزاً على البلاستيدات فقط وليس منتشراً كما هو الحال فى المحلول بحيث قد يخترق الورقة بعض الضوء دون أن يصادف فى طريقه أى صبغ ، كذلك يختلف تركيز الصبغ عادة فى الورقة عنه فى المحلول .

وتختلف نسب الأصباغ المكونة للكلوروفيل فى المجاميع النباتية المختلفة ، ففى الأوراق الخضراء يبلغ متوسط هذه النسب إلى وزن الورقة الرطب ٠٫٢٪ كلوروفيل « ا »، ٠٫٠٧٥٪ كلوروفيل «ب» ، ٠٫٠١٧٪ كاروتين، ٠٫٠٣٪

(شكل ٣٦٨)



رسم تخطيطى يوضح الطيف الامتصاصى لمحلول الكلوروفيل الغروى (ا) ، والورقة الحية (ب) . وفى أسفل توضيح لمناطق الطيف المنظور وأطوال موجاتها (ا ، ب) . (عن ويلشتاتر وستول) .

زانثوفيل ، وفى الطحالب البنية لا يوجد كلوروفيل «ب» بينما يكون كلوروفيل «ا» ٩٧٪ من المادة الخضراء ، أما لونها البنى فيعزى لوجود صبغ كاروتينى ثالث–بالإضافة إلى الكاروتين والزانثوفيل–هو الفيوكوزانثين (Fucoxanthin) وفى الطحالب الحمر يوجد إلى جانب الأصباغ الخضراء والصفراء صبغ أحمر هو الفيكوإريثرين (Phycoerythrin) وقد سبق ذكر ذلك فى باب الطحالب .

ومعظم النباتات إذا نمت بعيداً عن الضوء تكون خالية من الكلوروفيل ولذلك تبدو البادرات التى تنمو فى الظلام بيضاء أو صفراء (لوجود بعض الأصباغ الكاروتينية) ، وحين تعرض هذه البادرات للضوء فإنها سرعان ما تكتسب اللون الأخضر . وتفسير ذلك أن البادرات النامية فى الظلام تحتوى على كميات ضئيلة من مادة وثيقة الاتصال بالكلوروفيل – يطلق عليها اسم الكلوروفيل الأولى (Protochlorophyll) تتحول إلى الكلوروفيل بمجرد تعرض البادرات للشمس ، ويضطرد بعد ذلك تكون هذه المادة الأولية وتحويلها إلى الكلوروفيل . ومعنى هذا أن الكلوروفيل يتكون على مرحلتين ، الأولى لا تستلزم وجود الضوء ولكن الثانية تتطلب وجوده كشرط أساسى لإتمامها كما يتضح مما يلى :

خطوات تتم فى الضوء (الضوء)
أو الظلام ——← كلوروفيل أولى ——← كلوروفيل

ويتأثر تكون الكلوروفيل بعوامل أخرى غير الضوء ، فغياب عنصر الماغنيسيوم – الذى يدخل فى تركيب جزيئه – من الوسط الذى يعيش فيه النبات يحول دون تكون المادة الخضراء وعلى ذلك تظهر الأوراق شاحبة اللون ، وتعرف تلك الظاهرة بالشحوب اليخضورى (Chlorosis)، وذلك تمييزاً له عن الشحوب الناتج عن غياب الضوء والمعروف بالشحوب الظلامى (Etiolation) ، وكذلك يؤدى غياب عنصر النيتروجين أو الحديد أو المنجنيز إلى شحوب الأوراق ، ولو أن الأعراض تختلف فى كل حالة عنها

فى الأخرى . والدليل على أهمية هذه العناصر فى تكون الكلوروفيل هو أن إضافة العنصر الناقص إلى مزرعة النبات تؤدى إلى عودة اللون الأخضر فى الأوراق . ويلائم تكون الكلوروفيل مدى ضيق نسبياً من درجات الحرارة ، فالبادرات التى نمت لفترة فى الظلام ثم عرضت للضوء يتكون فيها الكلوروفيل سريعاً بين درجتى ١٨° ، ٣٠° م .

العوامل المحددة فى البناء الضوئى :

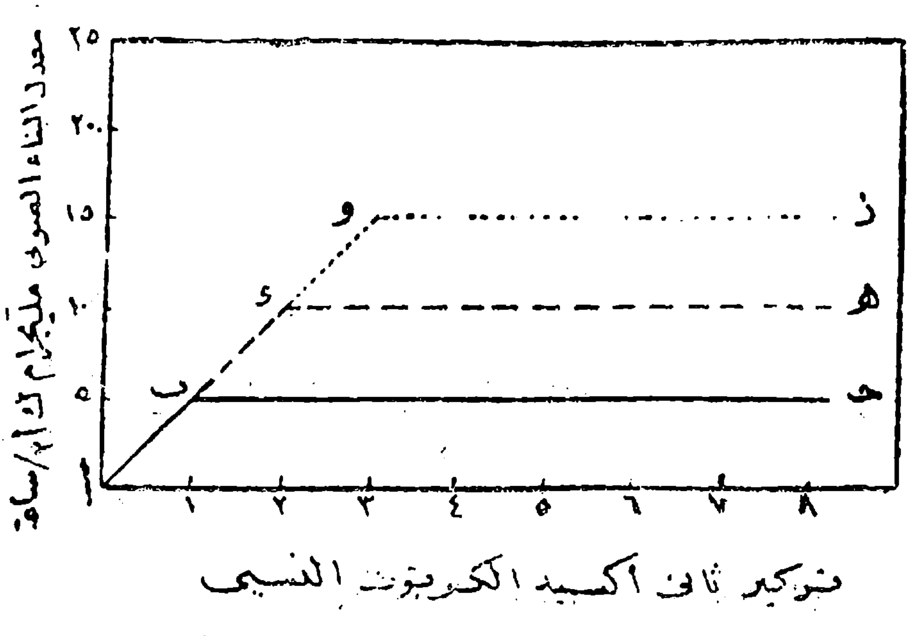
اتجه البحث عند دراسة تأثير العوامل المختلفة فى سرعة البناء الضوئى إلى تحديد القيمة الصغرى (Minimum) ، والمثلى (Optimum) ، والقصوى (Maximum) لكل عامل على حدة ، فعند دراسة تأثير درجة الحرارة مثلا فى البناء الضوئى أمكن تمييز درجة حرارة صغرى تقف العملية إذا انخفضت درجة الحرارة عنها ، ودرجة مثلى تصل عندها سرعة العملية إلى ذروتها ، ودرجة قصوى لا يستمر البناء الضوئى بعدها . وقد لوحظ أن القيمة المثلى للعامل ليست ثابتة بل تتغير ، ليس فقط من نبات إلى نبات بل وعلى حسب تغير العوامل الأخرى . فالقيمة المثلى لتركيز ثانى أكسيد الكربون تزداد بزيادة شدة الإضاءة ، كما أن درجة الحرارة المثلى تتغير بتغير شدة الإضاءة وهكذا . نستخلص من ذلك أنه عند تحديد القيمة المثلى للعامل المؤثر فى البناء الضوئى يجب ألا تغفل العوامل الأخرى المؤثرة .

وقد حاول بلاكمان (Blackman) — عام ١٩٠٥ — أن يزيل الغموض الذى يكتنف تأثير العوامل المختلفة فى البناء الضوئى فوضع نظريته المعروفة « بنظرية العوامل المحددة » (Theory of Limiting Factors) ومنطوقها : « عندما تتوقف سرعة عملية على عدد من العوامل غير المرتبطة ، فإن سرعة تلك العملية تتحدد بأبطأ هذه العوامل سرعة » . ولتفسير هذه النظرية نفرض أن ورقة نباتية تعرضت لدرجة من الإضاءة تسمح باستهلاك ٥ ملليجزام من ثانى أكسيد الكربون فى مدة ساعة . فإذا كان ما يدخل الورقة من ثانى أكسيد

الكربون هو ملليجرام واحد فى الساعة فإنه يستهلك فى البناء الضوئى نظراً لتوفر الطاقة الضوئية . وعندما تزداد كمية الغاز الداخلة فى الورقة فإن سرعة العملية ستأخذ فى الازدياد إلى أن يبلغ ما يستهلك منه ٥ ملليجرامات فى الساعة، وأية زيادة بعد ذلك فى كمية الغاز لن تصحبها زيادة فى سرعة العملية وذلك لأن الضوء المعرضة له الورقة لا يسمح باستهلاك مقدار جديد من الغاز . عندئذ تكون شدة الإضاءة هى العامل المحدد للعملية ، ولا تؤدى زيادة كمية ثانى أكسيد الكربون إلى تغير فى سرعة العملية إلا بزيادة شدة الإضاءة . هذا التداخل بين العاملين يتمثل فى المنحنى ا ب جـ من الرسم البيانى (شكل ٣٦٩) الذى وضعه بلاكمان لتوضيح نظريته . فعلى طول الجزء (ا ب) من هذا المنحنى تضطرد الزيادة فى سرعة العملية بزيادة العامل المحدد وهو هنا ثانى أكسيد الكربون .

وعند النقطة (ب) تقف الزيادة فى سرعة البناء الضوئى فجأة ويستمر معدلها ثابتاً على طول الجزء (ب حـ) من المنحنى وذلك لأن العملية أصبحت محدودة بعامل آخر هو الضوء . مما سبق يتبين أنه عندما تكون سرعة البناء

(شكل ٣٦٩)



رسم تخطيطى لتوضيح نظرية العوامل المحددة كما صورها بلاكمان

الضوئى محددة بواحد من مجموعة العوامل المؤثرة فيها فإن تغير هذا العامل بمفرده إلى حالة أكثر ملاءمة للعملية يؤدى إلى زيادة فى سرعتها .

وإذا تضاعفت شدة الإضاءة بحيث تسمح للورقة باستهلاك ١٠ملليجرامات من ثانى أكسيد الكربون فى الساعة فإن معدل البناء الضوئى يزداد بزيادة تركيز هذا الغاز حتى يصل إلى ضعف المعدل السابق للعملية عندما كان الضوء ضعيفاً ، وذلك كما يتضح من المنحنى (ا د ه) . وبالمثل إذا زادت شدة الإضاءة إلى ثلاثة أمثال ما كانت عليه أولا فإن معدل البناء يزداد بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون كما يتبين من المنحنى (ا و ز) .

العوامل التى تؤثر فى سرعة البناء الضوئى :

تؤثر فى عملية البناء الضوئى عدة عوامل بعضها خارجية وأهمها :

١ — تركيز ثانى أكسيد الكربون . ٢ — شدة الإضاءة .
٣ — درجة الحرارة . ٤ — الماء .

وبعضها الآخر داخلية وأهمها :

١ — الكلوروفيل . ٢ — العامل البروتوبلازمى .
٣ — تراكم نواتج البناء الضوئى .

العوامل الخارجية :

١ — تركيز ثانى أكسيد الكربون : يحتوى الهواء الجوى على نسبة ضئيلة من ثانى اكسيد الكربون تبلغ ٠,٠٣ ٪ بالحجم ، ولذلك فمن المحتمل أن يكون تركيز هذا الغاز هو العامل المحدد لعملية البناء الضوئى فى معظم الأحيان . ويمكن القول عموماً أن زيادة تركيز ثانى اكسيد الكربون ، بحد أدنى قدره ٠,٠٣ ٪ — ١ ٪ ، يؤدى إلى زيادة سرعة البناء الضوئى ما لم يحدد أحد العوامل الأخرى (كالضوء) سرعة العملية . وإذا زاد تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى درجة عالية نسبياً انخفضت سرعة البناء الضوئى ، ويختلف

تركيز الغاز الذى يبدأ عنده انخفاض سرعة العملية باختلاف نوع النبات ودرجة نمو أنسجة النبات وطول فترة تعرضها لهذا الغاز ، وغير ذلك من العوامل الجوية الأخرى ، وقد يصل هذا التركيز فى بعض النباتات إلى ٢٠ ٪ ويعزى تأثير هذه التركيزات العالية إلى مفعولها السام فى البروتوبلازم ، كذلك إلى كونها قد تسبب انغلاق الثغور ، وحينئذ ينخفض تركيز ثانى أكسيد الكربون حول الخلايا التى تقوم بالبناء الضوئى ، ومن ثم تتناقص سرعة العملية .

وتستهلك النباتات الأرضية فى كل عام نسبة عالية من ثانى أكسيد الكربون تبلغ $\frac{1}{3}$ من كميته الموجودة فى الجو ، لذلك يتحتم لكى تستمر الحياة على الأرض أن يتجدد هذا الغاز باستمرار . ويتم ذلك بما يتصاعد منه فى أثناء تنفس النباتات والحيوانات ومن عمليات تعفن وانحلال المواد الكربونية ومن عمليات الاحتراق الأخرى ومما يتصاعد منه من فوهات البراكين .

أما النباتات المائية الخضراء فإنها تستمد ما يلزمها من ثانى أكسيد الكربون مما يوجد منه فى بيئتها المائية على صورة ذائبة أو على هيئة كربونات أو بيكربونات ينتج عن تحللها تصاعد هذا الغاز .

٢ ـ شدة الإضاءة : لما كان الضوء هو المصدر الوحيد للطاقة اللازمة لعملية البناء الضوئى فقد أصبح من الواضح أن شدة الإضاءة ومدة تعرض النبات للضوء لهما تأثير على سرعة تلك العملية . وتأثير شدة الإضاءة فى البناء الضوئى تشبه إلى حد كبير تأثير تركيز ثانى أكسيد الكربون ، فعندما تكون شدة الإضاءة منخفضة فإن سرعة البناء الضوئى تتناسب طردياً مع الزيادة فى شدة الإضاءة ولكن فى الدرجات العالية من الإضاءة لا تكون الزيادة فى سرعة البناء الضوئى بنفس النسبة التى تزداد بها شدة الضوء ، كما هو الحال فى الدرجات المنخفضة ، وذلك بسبب الفعل المحدد للعوامل الأخرى .

وفى التركيزات العادية لثانى أكسيد الكربون يبلغ البناء الضوئى درجته القصوى عندما تتعرض الأوراق لدرجات من الإضاءة أقل بكثير من ضوء

الشمس فى أقصى شدته . ففى أوراق القطن والتفاح وعباد الشمس وغيرها يصل البناء الضوئى إلى أقصاه عندما تبلغ شدة الإضاءة ¼ إلى ½ ضوء الشمس الكامل . وتقل عن ذلك كثيراً بالنسبة لنباتات الظل . على أننا يجب أن نشير هنا إلى أن هذه التقديرات بنيت على أساس الورقة المنفردة ، غير أنه فى النباتات الكاملة يختلف الأمر عن ذلك كثيراً . ففى نبات التفاح يزداد البناء الضوئى بزيادة شدة الضوء حتى تصل إلى ما يقرب من قوة ضوء الشمس تقريباً ، وذلك لأن الأوراق فى النبات الكامل يظلل بعضها بعضاً ، فلا يكاد يصل إليها من ضوء الشمس غير ١ ٪ مما تتعرض له الأوراق الخارجية المكشوفة . ومما تجدر الإشارة إليه أن ضوء الشمس عند ظهيرة يوم مشمس يعادل من ٨,٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ شمعة قدمية .

وإذا زادت شدة الإضاءة بدرجة كبيرة أو استمر تعرض النبات للضوء العادى مدة طويلة فإن ذلك يؤدى إلى انخفاض نشاط البناء الضوئى . فمثلا عندما عرضت أوراق نبات الفول لإضاءة مقدارها ٦٨٠٠ شمعة قدمية تكونت بها كميات كبيرة من النشا ، ولكن عند تعريض هذه الأوراق لضعف الإضاءة السابقة كانت كمية النشا المتكونة أقل . وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم تأثير التشميس (Solarization effect) ؛ وقد يكون سبب هذه الظاهرة هو التلف الذى يصيب المادة الخضراء وغيرها من محتويات الخلية .

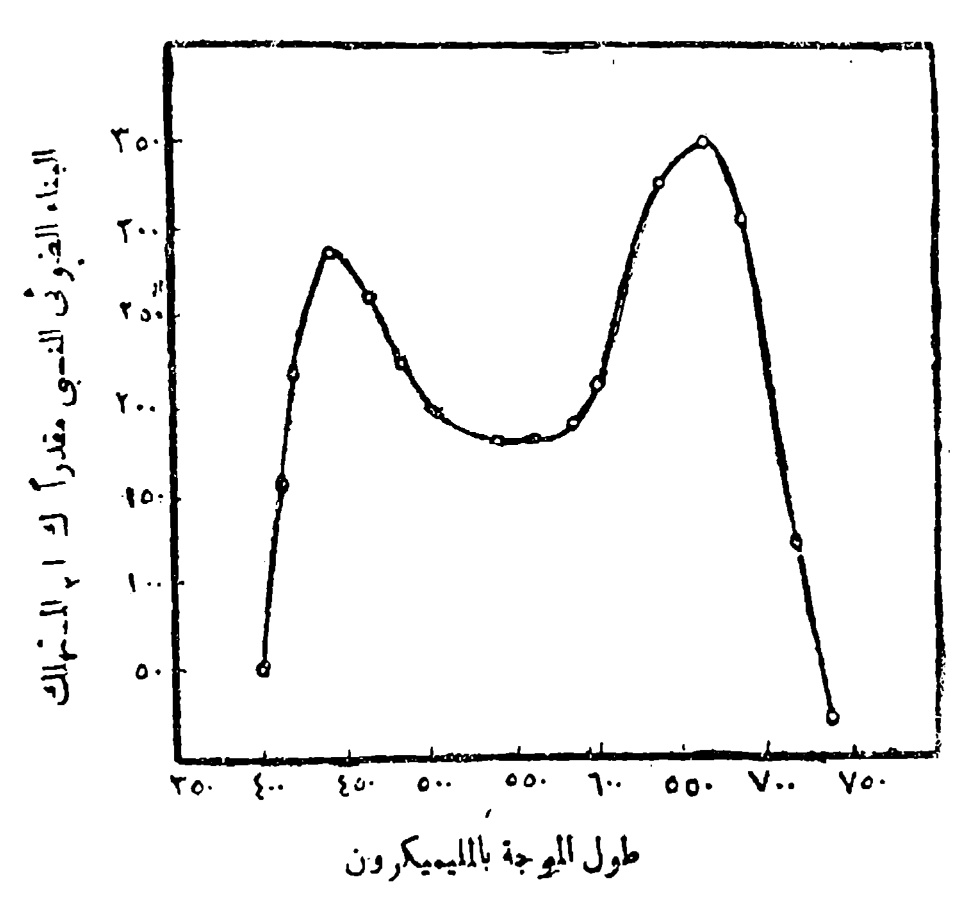
وفى درجات الإضاءة العادية تكون محصلة التبادل الغازى لعمليتى البناء الضوئى والتنفس هى دخول ثانى أكسيد الكربون وخروج أكسيجين ، وذلك لأن سرعة البناء الضوئى تفوق كثيراً سرعة التنفس فى ساعات النهار ، فما يصدر عن التنفس من ثانى أكسيد كربون لا يكفى البناء الضوئى فيدخل الأنسجة الخضراء قدر من هذا الغاز من الجو المحيط ، وما ينتج من أكسجين عن البناء الضوئى يستهلك جزء منه فى عملية التنفس ، وينطلق الباقى خارج النبات . ولما كان الضوء هو العامل المحدد للبناء الضوئى فى درجات الإضاءة المنخفضة فإنه عند شدة إضاءة معينة تكون سرعة البناء الضوئى فى الأجزاء الخضراء

مساوية تماماً لسرعة التنفس ، ويكون التبادل الغازى بين النبات والجو المحيط به معدوماً . ويطلق على هذه الدرجة من الإضاءة اسم « نقطة التعويض » (Compensation point) ، وهى تختلف باختلاف النبات . وبديهى أن النبات لا يمكنه الحياة طويلا تحت هذه الظروف ، فلن يكون هناك فائض من مواد البناء يستخدمه النبات فى بناء أنسجته وفى تنفسه أثناء الليل حين يتوقف البناء الضوئى .

أما بالنسبة لتأثير نوع الضوء أو طول الموجة فى عملية البناء الضوئى فقد تبين أن معدل العملية يتأثر بالأشعة ذات الأطوال الموجية التى تقع فى حدود الطيف المنظور (أى ما بين ٣٥٠ ، ٧٥٠ ملليميكرون) . ولما كانت المادة الخضراء تمتص الأضواء ذات الأطوال الموجبة المختلفة بدرجة متفاوتة فمن المتوقع أن يكون أكثر ما تمتصه المادة الخضراء من هذه الأضواء هو أكبرها أثراً فى البناء الضوئى . والضوء الأحمر هو أكثر ما يمتص من ألوان الطيف ويليه الضوء الأزرق والبنفسجى ثم الضوء الأخضر والأصفر ، ولذلك يبلغ نشاط البناء الضوئى ذروته فى الضوء الأحمر (٦٥٥ ملليميكرون) ، ثم ينخفض بعد ذلك كلما قصر طول الموجة ، ولكنه يعود إلى الارتفاع ثانية فى منطقة الضوء الأزرق البنفسجى (٤٤٠ ملليميكرون) ، كما يرى فى شكل (٣٧٠) .

٣- درجة الحرارة: دلت البحوث الكثيرة التى أجرتها ماتاى (Matthaei) - عام ١٩٠٤- والتى استعملت فيها أوراق نباتات مختلفة على أن سرعة البناء الضوئى ، ما لم تكن محددة بأحد العوامل الأخرى ، تزداد بارتفاع درجة الحرارة من -٦° إلى ٣٧° م ، وأن ارتفاع درجة الحرارة عن هذا المدى يسبب الانخفاض السريع فى المعدل . ولا تظل النهاية القصوى للعملية بعد ٣٠°م ثابتة ، بل فى الحقيقة يصبح عامل الزمن مهماً بعد درجة ٢٥°م ، فينخفض معدل العملية بمرور الوقت ، وكلما كانت درجة الحرارة أعلى كان الانخفاض أسرع . وقد أيد كثير من الباحثين هذه النتائج التى توصلت إليها ماتاى وذلك

(شكل ٣٧٠)



المعدل النسبى للبناء الضوئى فى نبات القمح ، وذلك فى درجات ضوئية مختلفة الطول متساوية الشدة (عن هوفر ١٩٣٧) .

بالنسبة لأنواع أخرى من النباتات . ويعزى انخفاض معدل العملية مع الزمن – وخاصة فى درجات الحرارة المرتفعة – إلى بعض العوامل الداخلية التى ربما يكون أهمها التأثير الإتلافى للحرارة على الإنزيمات وغيرها من مكونات البروتوبلازم .

وما لم يكن ثانى أكسيد الكربون وشدة الإضاءة أو غيرهما من العوامل محدداً للعملية ، فإن الازدياد فى معدل البناء الضوئى بين –٦°، ٢٥°م يكون منتظماً ، ويتبع قانون فانت هوف ، اى تتضاعف سرعة العملية تقريباً لكل زيادة مقدارها ١٠°م (المعامل الحرارى = ٢ تقريباً) . أما إذا كان الضوء ضعيفاً بحيث تتوقف عليه سرعة العملية فإن ارتفاع درجة الحرارة يكاد

لا يؤثر فى عملية البناء الضوئى ، ومن ثم يقترب المعامل الحرارى من الوحدة .

وحيث أن المعامل الحرارى للعملية عند وفرة الضوء وثانى أكسيد الكربون هو الخاص بالتفاعلات الكيميائية ، وأن المعامل الحرارى لها عندما يكون الضوء عاملا محدداً هو الخاص بالتفاعلات الضوئية الكيميائية ، فإنه يمكن القول بأن عملية البناء الضوئى تشتمل على تفاعلين : أحدهما ضوئى كيميائى — هو الذى يحدد العملية عندما تكون شدة الإضاءة منخفضة — ومن ثم لا يكون لتغير درجة الحرارة تأثير يذكر ، أما الآخر فهو تفاعل كيميائى يمكن أن يحدث فى الظلام وتعتمد سرعته على درجة الحرارة . وهذا التفاعل هو الذى يحدد العملية عندما تكون شدة الإضاءة عالية وتركيز ثانى أكسيد الكربون كبيراً . ومما يثبت أن عملية البناء الضوئى تشتمل على تفاعل ضوئى كيميائى هو اعتمادها على الضوء فقط كمصدر للطاقة . أما التفاعل الكيميائى فقد أيدت أبحاث بلاكمان وجوده ولذلك كثيراً ما يطلق عليه « تفاعل بلاكمان » .

٤ — **الماء** : يستهلك النبات فى عملية البناء الضوئى أقل من ١٪ مما يمتصه من الماء ، وعلى ذلك فليس من المحتمل أن يؤدى نقص كمية الماء إلى أن يجعل منه عاملا محددا للعملية ، بل يكون تأثير الماء غير مباشر ، فالانخفاض فى معدل البناء الضوئى الذى يصحب النقص فى كمية الماء يعزى إلى أن ثانى أكسيد الكربون أصبح عاملا محدداً وذلك لأن الثغور التى يمر خلالها ثانى أكسيد الكربون إلى داخل الورقة تنغلق جزئياً أو كلياً عندما تنقص كمية الماء فى الورقة ، وحتى لو لم تنغلق الثغور فإن الجدر الخلوية تضعف نفاذيتها لثانى أكسيد الكربون .

العوامل الداخلية :

١ — **الكلوروفيل** : يعتبر الكلوروفيل (اليخضور) عاملا أساسياً فى عملية البناء الضوئى ، فالأجزاء غير الخضراء فى الأوراق المرقشة لا تستطيع

القيام بعملية البناء التى تجرى فى الأجزاء الخضراء من الورقة ، وكذلك تبين أن الأكسيجين الذى يتصاعد فى أثناء العملية يخرج من البلاستيدات الخضراء مباشرة . وترجع أهمية الكلوروفيل (اليخضور) فى البناء الضوئى إلى قدرته على امتصاص الطاقة الضوئية اللازمة لدفع العملية .

ولما كانت كمية الكلوروفيل فى الأوراق تختلف اختلافاً كبيراً فقد أصبح من العسير إيجاد علاقة بين المحتوى الكلوروفيلى وسرعة البناء الضوئى . وأهم دراسة لتلك العلاقة هى التى قام بها العالمان فيلشتاتر وستول (Willstätter & Stoll) عام ١٩١٨ واستخدما فيها الأنواع ذوات الأوراق الخضر العادية أى الغنية بالكلوروفيل (١٦٫٢ ملليجرام كلوروفيل ‎/‏١٠ جرام من الأوراق الغضة) والأنواع ذوات الأوراق الصفراء المخضرة أى الفقيرة فى الكلوروفيل (١٫٢ ملليجرام كلوروفيل ‎/‏١٠ جم من الأوراق الغضة) لجنس النشم (Ulmus) وعندما أجريا تجاربهما فى ظروف لا تجعل من أحد العوامل الخارجية (الضوء وثانى أكسيد الكربون) عاملا محدداً لعملية البناء الضوئى وجدا أن معدل البناء فى الأوراق الخضراء لا يزيد كثيراً على معدله فى الأنواع ذوات الأوراق الصفراء رغماً عما تحتويه الأوراق الخضراء من نسبة عالية من الكلوروفيل . وقد أجريت فى هذا السبيل تجارب أخرى كثيرة تبين منها عدم وجود علاقة مباشرة بين المحتوى الكلوروفيلى وعملية البناء الضوئى فى أوراق النباتات الراقية. يستخلص من ذلك أن المحتوى الكلوروفيلى فى مثل هذه النباتات يندر أن يكون عاملا محدداً ، حتى ولو كانت كل العوامل الخارجية ملائمة لقيام العملية بل يبدو أنه توجد عوامل داخلية أخرى غير الكلوروفيل ، وهذه العوامل هى التى تحدد العملية .

٢ — **العامل البروتوبلازمى :** دلت أبحاث بريجز (Briggs) عام ١٩٢٢ على أن نشاط عملية البناء الضوئى فى بادرات بعض النباتات — كعباد الشمس والقرع — يبدأ بمجرد تكون المادة الخضراء . وفى بادرات نباتات أخرى — كالفاصوليا والخروع والذرة — يتأخر البناء الضوئى بعض الوقت رغم احتواء البادرات على كمية كبيرة من الكلوروفيل . يظهر من ذلك أن هناك عاملا

داخلياً آخر غير الكلوروفيل لا يتوفر وجوده فى الأدوار الأولى للإنبات ، وحين تبلغ البادرات عمراً معيناً يكون هذا العامل الداخلى قد توفر وجوده . ومما يؤيد هذا الرأى أن البادرات التى تخضر فى أطوار الإنبات الأخيرة تقوم بعملية البناء الضوئى بمجرد اخضرارها . وقد أطلق على هذا العامل الداخلى اسم « العامل البروتوبلازمى » ويبدو أنه ذو طبيعة إنزيمية .

٣ — تراكم نواتج البناء الضوئى : من المعلوم أن تراكم النواتج النهائية لأى تفاعل كيميائى يؤدى عادة إلى إبطاء سرعته . هذه الحقيقة صحيحة بالنسبة لعملية البناء الضوئى ، فإذا كان تراكم نواتج العملية فى الأنسجة الخضراء أسرع من انتقالها إلى الأنسجة الأخرى فإن ذلك يؤدى إلى إبطاء سرعة العملية أو توقفها ، وخاصة فى النباتات التى لا يتكون النشا فى أوراقها كمعظم النباتات ذوات الفلقة الواحدة . أما حين تتحول المادة السكرية فى الورقة إلى نشا فإن الأخيرة تخرج من التفاعل ولا يكون لتراكمها أى تأثير يذكر فى عملية البناء الضوئى .

ويتضح النقص فى معدل عملية البناء الضوئى الذى يصحب تراكم نواتجها فى تجارب التحليق (Ringing) ، فقد لوحظ أن معدل العملية فى الأوراق الموجودة فوق منطقة الحلقة أقل منه فى الأوراق الأخرى ، وذلك نظراً لزيادة المحتوى السكرى فى الأوراق الأولى زيادة كبيرة نتيجة لتوقف الانتقال منها .

آلية البناء الضوئى

إن العملية التى تشتمل على تحويل المواد الأولية (ثانى أكسيد الكربون والماء) إلى مواد كربوإيدراتية وأكسيجين ليست عملية اتحاد بسيطة بين ثانى أكسيد الكربون والماء كما تدل على ذلك المعادلة :

$$٦\,\text{ك أ}_{٢} + ٦\,\text{يد}_{٢}\text{أ} \xrightarrow[\text{خلايا خضراء}]{\text{طاقة ضوئية}} \text{ك}_{٦}\,\text{يد}_{١٢}\,\text{أ}_{٦} + ٦\,\text{أ}_{٢}$$

ولكنها تتم فى الحقيقة على مراحل عدة ، تؤدى المادة الخضراء دوراً هاماً فى واحدة منها على الأقل . كذلك يزداد الاعتقاد بأن إنزيماً أو عدة إنزيمات تشترك فى بعض هذه الخطوات .

وعدد الخطوات التى تشتمل عليها عملية البناء الضوئى غير معروف على وجه التحديد ، غير أنه يمكن تمييز نوعين من التفاعلات ، أحدهما تفاعل ضوئى يتطلب وجود الضوء والآخر يعرف « بتفاعل الظلام » أو « تفاعل بلاكمان » ولا يتطلب وجود الضوء . يؤيد ذلك ما سبق أن ذكرناه من أن المعامل الحرارى لعملية البناء الضوئى - عندما تكون شدة الإضاءة وتركيز ثانى أكسيد الكربون متوفرين - يبلغ ٢ تقريباً ، وحيث أن هذا المعامل هو الخاص بالتفاعلات الكيميائية فإن ذلك يدل على أن عملية البناء الضوئى تشتمل على تفاعل ضوئى واحد على الأقل . أما الدليل على اشتمال عملية البناء الضوئى على تفاعل ضوئى كيميائى فيستمد من اقتراب المعامل الحرارى للعملية من الوحدة عندما تكون شدة الإضاءة ضعيفة بحيث يصبح الضوء عاملا محدداً ، إذ من المعروف أن هذا المعامل الحرارى هو الخاص بالتفاعلات الضوئية الكيميائية .

وقد وضعت نظريات كثيرة لتوضيح التفاعلات التى تشتمل عليها عملية البناء الضوئى ، افترض معظمها تكون الفورمالدهيد كناتج وسطى ، غير أن ما صادف الباحثين من فشل فى إثبات تكون الفورمالدهيد فى الورقة يوحى - فى حالة صحة الفرض السابق - بأن الفورمالدهيد لا يتراكم فى الورقة بل يتبلمر (Polymerizes) بمجرد تكونه إلى سكر .

وأولى هذه النظريات هى نظرية الفورمالدهيد التى وضعها باير (Baeyer) - عام ١٨٧٠ - ومؤداها أنه عندما يتعرض الكلوروفيل لضوء الشمس يتفكك ثانى أكسيد الكربون المحيط به إلى ذرة أكسجين تتصاعد وأول أكسيد كربون يبقى مرتبطاً بالكلوروفيل ، حيث يختزل بإيدروجين الماء مكوناً الفورمالدهيد الذى يتجمع إلى سكر أحادى . وتتصاعد ذرة أكسجين أخرى من الماء . يتضح من ذلك أن ٥٠ ٪ من الأكسجين المتصاعد فى عملية البناء الضوئى مصدرها ثانى أكسيد الكربون ، أما الباقى فمصدره الماء الذى يدخل فى التفاعل .

مصدر الأكسيجين المتصاعد :

أدت الأبحاث التى أجراها روبن (Ruben) ومساعدوه عام ١٩٤١ — إلى تبين مصدر الأكسيجين المتصاعد فى أثناء عملية البناء الضوئى. فعند استعمال الأكسيجين المناظر (الذى وزنه الذرى ١٨ وليس ١٦ كما هو الحال فى الأكسيجين العادى) فى تجارب البناء الضوئى وجد أن كل الأكسيجين المتصاعد مصدره الماء وليس ثانى أكسيد الكربون . ذلك أنه عندما هيء لطحلب الكلوريللا أن يقوم بالبناء الضوئى فى وجود ماء يحتوى على (ا^{١٨}) كان الأكسجين المتصاعد يحتوى على المناظر الثقيل ، أما عندما كان ثانى أكسيد الكربون هو الذى يحتوى على (ا^{١٨}) فقد تصاعد الأكسيجين خال من هذا المناظر الثقيل تماماً ، يتضح من ذلك أن الماء هو مصدر كل الأكسيجين المتصاعد .

وحيث أن خروج جزىء من الأكسيجين يتطلب وجود جزيئين من الماء وأن معامل البنـــاء الضـــوئى (Photosynthetic quotient) وهو نسبة الأكسيجين المنطلق إلى ثانى أكسيد الكربون المستهلك يساوى الوحدة . فإن المعادلة الآتية تكون أكبر تمثيلا للتغيرات النهائية للعملية من المعادلة التقليدية .

طاقة ضوئية

٦ ك ا$_{٢}$ + ١٢ يد$_{٢}$ا* ←——— ك$_{٦}$ يد$_{١٢}$ ا$_{٦}$ + ٦ يد$_{٢}$ا + ٦ ا$_{٢}$*

خلايا خضراء

وتحدد العلامة الموجودة فى المعادلة نفس ذرات الأكسيجين . ولكى توزن المعادلة فقد استخدم عدد مضاعف من جزيئات الماء . وليس بالضرورة أن تكون هذه المعادلة صحيحة ، إلا أنها تدل على أقل عدد ممكن من جزيئات الماء يمكن أن يستخدم فى التفاعل .

وتمثل المعادلة الآتية التفاعل المؤدى إلى تصاعد الأكسيجين .

طاقة ضـــوئية

٤ يد$_{٢}$ا ←——— ٤ يد + ا$_{٢}$ + ٢ يد$_{٢}$ ا

كلوروفيـــل

وحيث أن هذه المعادلة توحى بانشقاق الماء بالضوء إلى شقى الإيدروجين والإيدروكسيل ، فقد أطلق على هذه المرحلة الانشقاق الضوئى للماء (Photolysis) . ونظراً لأن الضوء لا يمتص بواسطة الماء فإنه يصبح من العسير اعتبار هذا التفاعل كيميائياً ضوئياً بالمعنى الحقيقى ، ويتجه الرأى حديثاً إلى اعتباره تأكسداً ضوئياً لأيونات الإيدروكسيل يصاحبه اختزال ضوئى لأيونات الإيدروجين ، أو ما يعرف بالانتقال الإلكترونى الضـوئى (Photoelectron transport) .

تفاعل هل :

أوضحت تجارب روبن هل (Robin Hill) – عام ١٩٣٧ – الدور الذى يقوم به الضوء فى عملية البناء الضوئى ، إذ أمكنه فصل مرحلة الاختزال الكربونى عن مرحلة تثبيت الطاقة الضوئية ، وذلك باستعمال بلاستيدات خضراء معزولة من النباتات . فإضاءة معلق البلاستيدات الخضراء فى غياب ثانى أكسيد الكربون تؤدى – إذا وجد مستقبل مناسب للإيدروجين كحديدى السيانور أو الكينون – إلى انطلاق الأكسيجين. وقد ثبت باستعمال الأكسيجين الثقيل (١٨ا) أن الأكسجين المتصاعد يأتى من جزيئات الماء كما هو الحال فى البناء الضوئى الحقيقى . وهذا التفاعل – المعروف الآن بتفاعل هل (Hill reaction) – يمكن تلخيصه فى المعادلة التالية ، بفرض أن « م » تقوم مقام المستقبل الإيدروجينى :

(ضوء)

٢ يد٢ا + ٢ م ———————← ٢ م يد٢ + ا٢

(بلاستيدات خضراء)

وقد تبين أن النبات الكامل يستطيع القيام بتفاعل هل ، أى يتصاعد منه الأكسيجين دون اختزال لثانى أكسيد الكربون . فمثلا عندما أضىء معلق خلايا الكلوريلا فى غياب ثانى أكسيد الكربون – ولكن فى وجود مواد معينة تستقبل الإيدروجين مثل البنزوكينون – انطلق الأكسيجين الناتج من

الماء . وقد أصبح من المتفق عليه الآن أن تفاعل هل – الذى يعتبر فى حقيقته انشقاقاً للماء بمساعدة الضوء – يمثل المرحلة الابتدائية لعملية البناء الضوئى ، أى أن الضوء الممتص بوساطة البلاستيدات الخضراء فى النبات يساعد على تفكك الماء إلى الإيدروجين والأكسيجين . ويتصاعد الأكسيجين الناتج من هذا الانشقاق على هيئة أكسيجين جزيئى ، أما الإيدروجين فيختزن فى البلاستيدات الخضراء متحداً مع مادة تستطيع استقباله وتعمل كعامل مختزل يقوم – بطريق مباشر أو غير مباشر – بنقل الإيدروجين إلى ثانى أكسيد الكربون أو غيره من المركبات . وقد دلت بحوث أرنون ومرافقيه – عام ١٩٥٧ – على أن نيكوتينا ما يد أدينين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى (ن ا ث ف و) يعمل كمستقبل للإلكترونات أو الإيدروجين الناتج من الانشقاق الضوئى للماء . وعليه فإذا اعتبرنا أن دور الضوء هو انشقاق الماء ، فإن اختزال ثانى أكسيد الكربون يمكن أن يتم فى الظلام . وقد دلت التجارب التى أجريت على الطحالب الخضراء أن اختزال ثانى أكسيد الكربون يستمر فى الظلام لفترة وجيزة عقب حرمانها من الضوء .

المجموعتان الصبغيتان (Two pigment systems) :

فى أواخر الخمسينات وأوائل الستينات أصبح واضحاً أن البناء الضوئى يتطلب تآزر عمليتين كيموضوئيتين ، يؤثر فى كلتيهما الضوء ذو الأطوال الموجية الأقصر من ٦٨٠ نانومتر (ن = ١٠–٩م) بينما الأطوال الموجية الأعلى تؤثر فى عملية واحدة فحسب (كلايتون ١٩٦٥ ، Clayton) ، ولقد أوضحت التحاليل العديدة لصبغ الكلوروفيل ا وهو فى داخل الورقة ، أن الجزء الأكبر منه يوجد فى صورتين : صورة ذات درجة امتصاص قصوى عند ٦٧٣ نانومتر (كلوروفيل ا ٦٧٣) ، بينما الصورة الأخرى ذات درجة امتصاص قصوى عند ٦٨٣ نانومتر (كلوروفيل ا ٦٨٣) – بتلر Butler ١٩٦٦ – وهناك أيضاً كلوروفيل ذو امتصاص موجى أطول ولكنه يوجد بكمية تقل كثيراً جداً عن الصورتين الأوليتين ، هذا الكلوروفيل

له درجة امتصاص قصوى عند طول موجى ٧٠٣ نانومتر ويطلق عليه ص ٧٠٠ (P700) ويعتقد أنه صورة أخرى من صور كلوروفيل ا (كلايتون - ١٩٦٦ - Clayton) .

وعليه فإن المرحلة الكيموضوئية من البناء الضوئى تتضمن مجموعتين ضوئيتين منفصلتين يطلق عليهما المجموعة الضوئية (١) والمجموعة الضوئية (٢) والأولى غنية بكلوروفيل ا كما تحتوى كاروتينويدات ، وكمية من كلوروفيل ب أقل مما فى المجموعة الضوئية (٢) . وتعمل أصباغ المجموعتين الضوئيتين على جمع الطاقة . ونقلها إلى جزيئات الكلوروفيل ا الموجودة فى مراكز النشاط الكيموضوئى . ويتكون مركز النشاط الصبغى فى المجموعة الضوئية (١) من كلوروفيل ا الذى يمتص الموجات الضوئية عند ٧٠٣ نانومتر والذى أطلق عليه ص ٧٠٠ ، أما الكلوروفيل ا الموجود فى مركز نشاط المجموعة الضوئية (٢) فهو من النوع الذى يبلغ أقصى امتصاصه ٦٨٢ نانومتر ويعرف بالكلوروفيل ٦٨٠ . وجزيئات كلوروفيل ا (الجزيئات المانحة) تختزل مستقبلات الكترونية معينة وتتأكسد هى فى نفس الوقت ، أما حاملات الالكترون المختزلة فتبدأ انسياباً الكترونياً تتحول فى أثنائه الطاقة إلى طاقة كيميائية .

وحدة البناء الضوئى (Photosynthetic unit) :

لقد كان المعتقد أن امتصاص الطاقة الضوئية وتحولها يتطلب وجود بلاستيدات خضراء كاملة ، إلا أن كثيراً من الباحثين أوضحوا فى السنوات الأخيرة إمكانية حدوث تفاعل هل فى بلاستيدات خضراء بالغة التفتت ، وهذا يوحى أن البلاستيدات الخضراء تحتوى على عدد كبير من وحدات البناء الضوئى الصغيرة . ويعتقد أن وحدة البناء الضوئى الأساسية تحتوى على حوالى ٤٠٠ جزىء كلوروفيل جامعة للطاقة ومركز اصطياد واحد . ويعمل الترابط الوثيق لجزيئات الكلوروفيل فى البذيرات أو الحبات (Grana) على حسن انتقال الالكترونات بطريقة ترددية (Reasonance transfer) .

ويطلق أحياناً على جزيئات الكلوروفيل المكدسة فى ترتيب محكم والحاصدة للضوء اسم « الكلوروفيل الهوائى (Antennae chlorophyll) .

ويتم إنتقال الطاقة الضوئية من صبغ ذى موجة امتصاص قصيرة (طاقة أعلى) إلى صبغ ذى موجة امتصاص أطول (طاقة منخفضة) . فى المجموعة الضوئية (١) يكون الصبغ ذو موجات الامتصاص الطويلة هو ص ٧٠٠ ، وفى المجموعة الضوئية (٢) يكون صبغ الامتصاص هو ص ٦٨٠ . وعند إهاجة هذه الأصباغ فإنها تستطيع أن تختزل المستقبلات الالكترونية ، ومن ثم تسمح بمرور الالكترونات إلى جزيئات أخرى .

الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) :

عندما اتضحت قدرة البلاستيدات الخضراء المعزولة على تثبيت ثانى أكسيد الكربون ، أصبح واضحاً أن البلاستيدة الخضراء تحتوى الإنزيمات المطلوبة لتكوين أدين-٣- فو اللازم لتثبيت ك أ٢ وإنتاج المواد الكربوهيدراتية. وقد كان أرنون ورفاقه (Arnon *et al.*) عام ١٩٦٤ أول من أوضح قدرة البلاستيدة الخضراء المعزولة على إنتاج أدين-٣-فو عند تعرضها للضوء . وقد أطلقوا على هذه العملية الفسفرة الضوئية أو فسفرة البناء الضوئى (Photosynthetic phosphorylation) وذلك تمييزاً لها عن عملية تخليق أدين-٣- فو بواسطة الميتوكوندريا والمعروفة باسم الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) .

ويختلف تكوين أدين - ٣ - فو فى البلاستيدات الخضراء عنها فى الميتوكوندريا وذلك لأن العملية الضوئية مستقلة تماماً عن عمليات التأكسد التنفسية التى تحتاج إلى الأكسيجين ، والواضح أن الطاقة الضوئية فى العملية الأولى تتحول إلى طاقة كيميائية .

وليس أدين-٣-فو هو المتطلب الوحيد لإنتاج الكربوهيدرات ، بل تتكون أيضاً مادة مختزلة تمنح الإيدروجين أو الالكترونات ، فقد أوضح

أرنون عام ١٩٥١ قدرة البلاستيدات الخضراء عند إضاءتها على اختزال نيوكليوتيدات البريدين طالما ارتبط التفاعل الضوء كيميائى بمجموعة إنزيمية قادرة على استخدام نيوكليوتيد البريدين الفعال فى البناء الضوئى وهو نيكوتينامايد أدين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى (NADPH) . ففى وجود الماء وأدين -٢- فو والفوسفات يختزل المرافق الإنزيمى المتأكسد ويتصاعد الأكسيجين حسب المعادلة الآتية :

٢ أدين -٢- فو + ٢ فوسفات + ٢ ن ا ث فو + ٤ يد٢ ا

ضوء ↓ بلاستيدات خضراء

٢ أدين -٣- فو + ا٢ + ٢ ن ا ث فو. يد + ٢ يد٢ ا

ومعنى ذلك أن انطلاق جزىء من الأكسجين يكون مصحوباً باختزال جزيئين من ن ا ث فو وتكوين جزيئين من أدين ٣ فو . وكلا المركبان أدين -٣- فو ، ن ا ث فو. يد يزود الطاقة والقوة الاختزالية اللازمة لتثبيت ك ا٢ .

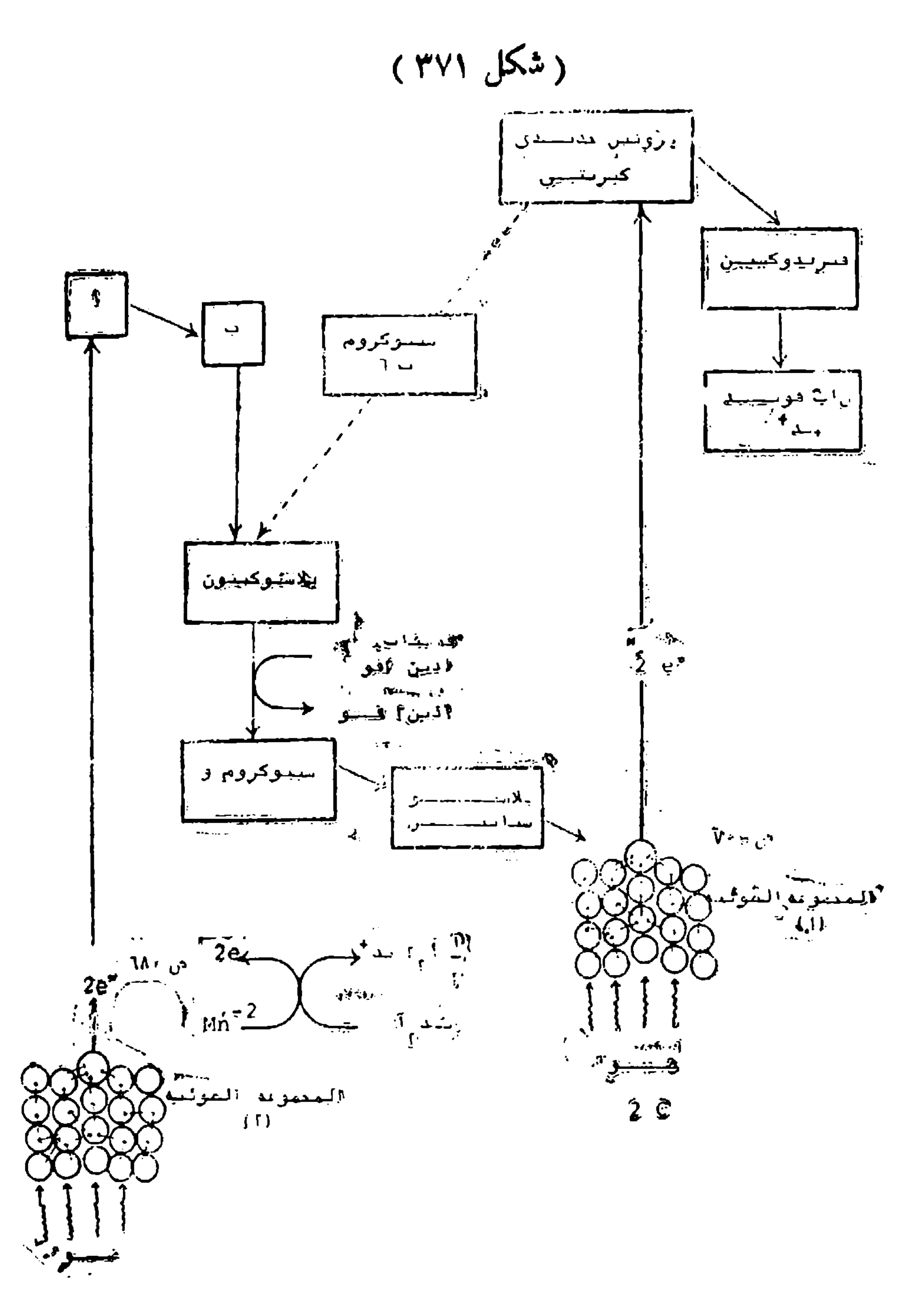
الفسفرة الضوئية غير الدائرية (Noncyclic photophosphorylarion) :

إن الإنسياب الأولى للإكترونات فى بذيرة البلاستيدة الخضراء يبدأ فى وقت واحد لكل مجموعة ضوئية ، وذلك خلال سلسلة متكاملة من التفاعلات تقترن بالانشطار الضوئى للماء . وهذا الانسياب الالكترونى ضرورى لتكوين أدين-٣-فو ،ن ا ث فويد . ويطلق على هذا التكامل بين المجموعتين الضوئيتين الفسفرة الضوئية غير الدائرية أو الانتقال الإلكترونى غير الدائرى .

ويوضح الشكل (٣٧١) أنه بعد إهاجة ص ٧٠٠ - وهو مصيدة المجموعة الضوئية (١) - تنتقل الإلكترونات إلى مستقبل إلكترونى غير مميز ويعتقد أنه بروتين حديدى كبريتى ، ثم تنتقل الإلكترونات إلى الفيريدوكسين وهو بروتين يحتوى على الحديد ومنه إلى ن ا ث فو الذى يتحول إلى صورته المختزلة ن ا ث فو يد+يد$^{+}$(يكتب عادة فى صورة مختصرة ن ا ث فو. يد).

هذا الانتقال الالكترونى يخلق عجزاً الكترونياً فى المجموعة الضوئية (١) . ويعوض هذا العجز بإثارة ص ٦٨٠ فى المجموعة الضوئية (٢) الذى تنطلق منه الإلكترونات إلى ص ٧٠٠ عبر مجموعة من الحوامل الإلكترونية :

(شكل ٣٧١)



الانتقال الالكترونى الضـوئى (مخطط Z) يوضـح الانتقال الالكتروني الدائرى وغير الدائرى . أ ، ب مركبان غير معروفى الهوية (عن ديفلين ووثام بتصرف ١٩٨٣)

الحاملان الأولان ا ، ب غير معروفين إلى الآن، ومنهما إلى البلاستوكينون ثم السيتوكروم و (وهو نوع خاص بالورقة) ثم البلاستوسيانين (صبغة بروتينية زرقاء يحتوى الجزئ على ذرتى نحاس ، وتوجد فى البلاستيدات الخضراء بمعدل يقرب من جزئ واحد لكل ٢٠٠ جزئ من الكلوروفيل) .

وعند مرور الإلكترونات من البلاستوكينون إلى السيتوكروم و ، يتكون فى هذا الموضع جزئ من الأدينوسين ثلاثى الفوسفات . أما الفراغ الإلكترونى الذى نشأ فى المجموعة الضوئية (٢) فيملأ بالإلكترونات الناشئة عن انشطار الماء ضوئياً . وهكذا فإن مرور الإلكترونات يتطلب كلتا المجموعتين الضوئيتين وينتج عن ذلك تكون ن ا ث فو . يد وأدين -٣- فو .

الفسفرة الضوئية الدائرية :

إذا فرضنا أن البلاستيدات الخضراء عرضت لضوء أطواله الموجبة أعلى من ٦٨٠ نانومتر (منطقة الطيف التى يشغلها الضوء الأحمر الذى يمتصه كلوروفيل ا) فإن المجموعة الضوئية (١) هى وحدها التى ستنشط ومن ثم لا تنتقل الكترونات الماء، ولا يتصاعد فى هذه الحالة اكسيجيناً . وعند توقف انسياب الإلكترونات من الماء تتوقف الفسفرة الضوئية غير الدائرية وينخفض تمثيل ثانى أكسيد الكربون . ولا يتكون ن ا ث فو المختزل .

ويسبب تنشيط المجموعة الضوئية (١) بالموجات الضوئية الأطول من ٦٨٠ نانومتر انسياب الإلكترونات من ص ٧٠٠ إلى المركب الذى لم يتحدد بعد ، ونظراً لعدم مرور الإلكترونات إلى ن ا ث فو المؤكسد فإنها تتحول إلى سلسلة نقل الكترونى وسطية ربما عن طريق سيتوكروم ب ٦ ، وهذا يسمح بدوره بعودة الإلكترونات إلى الشاغر الإلكترونى فى ص ٧٠٠ عن طريق سيتوكروم و ثم البلاستوسيانين . وهكذا يتم نقل الإلكترونات فى دورة مغلقة دون أن تسفر عن اختزال ن ا ث فو ، ويرتبط بهذا الانسياب الإلكترونى تحول أدين -٢- فو إلى أدين -٣- فو، وهذا ما يطلق عليه الفسفرة الضوئية الدائرية .

ورغم أن بعض المخططات يوضح أن تكوين أدين - ٣ - فو في الفسفرة الضوئية الدائرية يتم فى موضعين يقعان بين البروتين الحديدى الكبريتى والسيتوكروم ب ٦ وبين الأخير وسيتوكروم و ، غير أن هذا ليس محتملا دون وساطة البلاستوكينون .

تثبيت ثانى أكسيد الكربون واختزاله (دورة كالفين) :

أدى استمرار استعمال العناصر المشعة إلى إثبات أن الناتج الوسطى الأساسى للعملية ليس هو الفورمالدهيد بل مركب يحتوى على ثلاث ذرات من الكربون . فعندما استعمل بنسون وكالفين (Benson & Calvin) ، ١٩٤٩ — ١٩٥٠ ، الكربون المناظر (ك١٤) فى صورة ثانى أكسيد كربون فى تجارب البناء الضوئى وحللا خلايا طحلب الكلوريللا المستعملة على فترات متتابعة ، تبين أنه عندما أضيئت الخلايا مدة طويلة نسبياً (نصف ساعة) ظهر الكربون المشع فى جزيئات المادة السكرية المتكونة (السكروز). ولكن عندما قصرت فترة البناء الضوئى حتى بلغت خمس ثوان ظهرت نسبة كبيرة (حوالى ٧٠ ٪) من الكربون المشع فى حمض فوسفو الجليسريك الذى يحتوى على ثلاث ذرات من الكربون ، وعلى ذلك استنتج العالمان أن هذا الحمض هو الناتج الوسطى الأساسى فى عملية تحويل ثانى أكسيد الكربون إلى سكر . ومن المعروف كذلك أنه أحد النواتج الوسطية فى عملية التنفس ، التى تشتمل على تكسير السكر إلى ثانى أكسيد الكربون . وعندما طالت فترة التجربة قليلا عن هذه الثوانى الخمس ظهر الكربون المشع فى مركبات أخرى (حمضى الماليك والبيروفيك وغيرهما من الأحماض العضوية والأمينية) ، ثبت أن بعضها نواتج وسطية لعملية التنفس . وعلى ذلك استنتج الباحثان أن المرحلة التى يتم فيها اختزال ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى يمكن أن تسير على الأقل فى جزء منها — فى اتجاه عكسى لما يحدث فى عملية التنفس .

وقد كان لاكتشاف تكون حمض فوسفو الجليسريك كأول ناتج وسطى

أساسى لعملية البناء الضوئى أكبر الفضل فى التحقق من أن البناء يتضمن عملية فسفرة . فالكم الضوئى الذى يؤدى إلى تكوين نيوكليوتيد البريدين المختزل (ن ا ث فويد) اللازم لتثبيت ثانى أكسيد الكربون يؤدى فى نفس الوقت إلى تكوين أدينوسين ثلاثى الفوسفات (أدين — ٣ — فو) ، الذى تختزن فيه الطاقة الضوئية على هيئة روابط غنية بالطاقة ، وبذلك تنشأ القوة الدافعة لتحويل ثانى أكسيد الكربون إلى نواتج كربوإيدراتية كما سبق أن ذكرنا فى الفسفرة الضوئية .

ويبدو أن حمض فوسفو الجليسريك لا يتكون من ثانى أكسيد الكربون مباشرة ، بل من اتحاد الأخير مع مركب آخر كان يعتقد كالفين ومرافقوه أنه مركب ثنائى ذرات الكربون ثم اتضح لهم عام ١٩٥٦ أنه مركب خماسى ذرات الكربون هو ريبيولوز ثنائى الفوسفات (Ribulose diphosphate) . وينتج عن هذا الاتحاد مركب سداسى ذرات الكربون ، ينشق إلى جزيئين من حمض فوسفو الجليسريك ، ثم يختزل هذا الحمض فى الضوء إلى ألدهيد فوسفو الجليسريك الذى يتكثف — فى خطوات مماثلة لعكس ما يحدث فى التنفس — إلى سكر سداسى ثنائى الفوسفات هو « فركتوز ١ ، ٦ ثنائى الفوسفات » ، الذى يعتبر مصدراً للسكرات الأحادية والسكروز والنشا المتكونة فى أثناء البناء الضوئى .

ولكى تستمر عملية البناء الضوئى لا بد من استمرار وجود الحافز إليها ، وهو تكوين نيوكليوتيد البريدين المختزل وأدينوسين ثلاثى الفوسفات ، وكلاهما يتكون نتيجة لامتصاص الضوء . ويتجدد ريبيولوز ثنائى الفوسفات اللازم أيضاً لاستمرار البناء من سلسلة من التفاعلات الكيميائية ، يتحول فيها ألدهيد فوسفو الجليسريك المتكون إلى مركبات رباعية وسداسية وسباعية ذرات الكربون ، تنتهى فيما بينها إلى تكوين السكر الخماسى .وقد سميت هذه التفاعلات بدورة كالفين (Calvin cycle) ، وقد منح كالفين جائزة نوبل

عام ١٩٦١ تقديراً لهذا العمل الذى يتكون أساساً من أربعة مراحل رئيسية هى :

١ - يتحد ك ا٢ والماء مع الريبيولوز ثنائى الفوسفات لتكوين جزيئين من حمض ٣- فوسفو الجليسريك (3-PGA) .

٢ - يختزل حمض ٣- فوسفو الجليسريك إلى ألدهيد -٣- فوسفو الجليسريك بواسطة الكترونات يزودها ن ا ث فو يد وطاقة يزودها أدين-٣- فو وهما ناتجا تفاعلات الضوء فى البناء الضوئى ويتم هذا التفاعل على النحو التالى :

حمض ٣ - فوسفوالجلسريك ←——— حمض ١، ٣ فوسفوا لجليسريك

أدين -٣- فو   أدين -٢- فو

←——— ألدهيد -٣- فوسفوالجليسريك

ن ا ث فو يد + يد+   ن ا ث فو+

٣ - بعض جزيئات ألدهيد -٣- فوسفو الجليسريك تتحول إلى الفركتوز ثنائى الفوسفات الذى يتحول جزء منه إلى الزيلولوز - ٥ - فوسفات . أما بقية جزيئات ألدهيد -٣- فوسفو الجليسريك فتتحد مع سيدوهبتيولوز -٧- فوسفات وينتج عن هذا الاتحاد تكوين ريبوز -٥- فوسفات وزيلولوز -٥- فوسفات ، ويتكون الريبيولوز -٥- فوسفات مباشرة من أى من هذين السكرين الخماسيين .

٤ - يتفسفر الريبيولوز -١- فوسفات على حساب أدينوسين ثلاثى الفوسفات مكوناً ريبيولوز ثنائى الفوسفات الذى يمكن أن يستقبل ك ا٢ ليعيد الدورة .

مما سبق يتضح أن دورة كالفن تحقق تولد الريبيولوز ثنائى الفوسفات كما تؤدى إلى تكوين مخزون كربوإيدراتى حيث أن بعضاً من جزيئات ألدهيد -٣- فوسفو الجليسريك يستغل فى تكوين السكروز والنشا والسليلوز والبكتين وغيرها من عديدات التسكر ، وذلك بدلا من تحولها بالكامل إلى

الريبيولوز -٥- فوسفات . ويعنى هذا أن تكرار الدورة ٦ مرات يؤدى إلى تثبيت ٦ جزيئات من ك ا٢ ويتكون جزئ واحد من الهكسوز فوسفات . ويوضح الشكل (٣٧٢) دورة كالفن كاملة ، ومنها تتضح الحاجة إلى جزيئين من ن ا ث فو يد (جزئ لكل من جزيئى حمض ٣- فوسفو الجليسريك المتكونين) وثلاثة جزيئات من أدين -٣- فو ، جزيئان منها لاختزال جزيئى حمض٣ - فوسفو الجليسريك ، أما الجزئ الثالث فيحول الريبيولوز - ٥ - فوسفات إلى الريبيولوز - ١، ٥ - ثنائى الفوسفات .

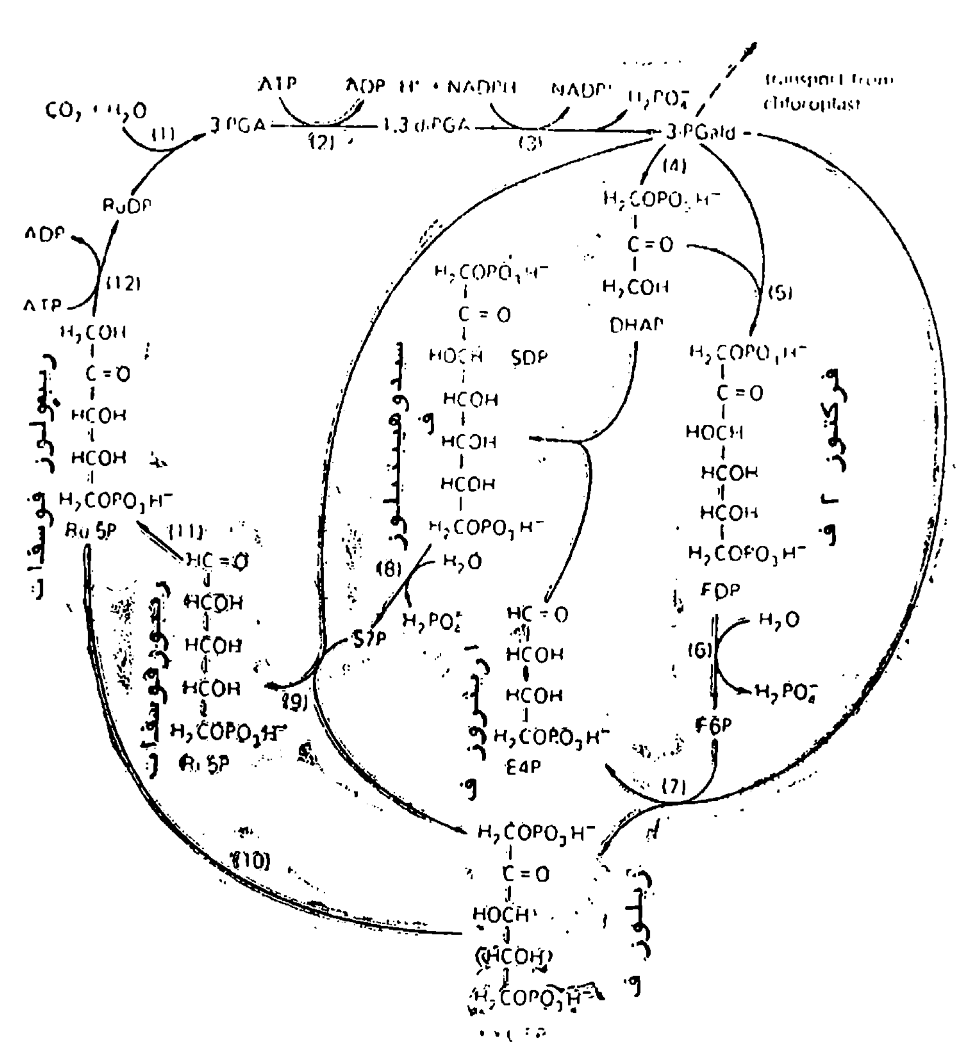
مسار هاتش - سلاك لتثبيت ك ا٢ (Hatch–Slack Pathway) :

كان يظن بعد التعرف على النواتج الوسطية لدورة كالفن أن كل ما يتعلق بتثبيت ك ا٢ واختزاله فى النباتات قد أصبح واضحاً ، غير أن العالمين هاتش وسلاك (١٩٦٦ ، ١٩٦٧) قد لاحظا أن بعض النباتات وخاصة الاستوائية منها يتكون فيها بعد فترات قصيرة من البناء الضوئى حامضاً الماليك والأسبارتيك وتظهر أيضاً كمية ضئيلة جداً من حمض فوسفو الجليسريك ، مما يوحى بأن المركب الأخير ليس المركب الوسطى لتثبيت ك ا٢ ، ويبدو أن البناء الضوئى يسلك فى هذه النباتات مسلكاً مغايراً لدورة كالفن .

ويطلق الآن على أنواع النباتات التى تستخدم ريبيولوز ثنائى الفوسفات فى الاتحاد مع ك ا٢ وإنتاج حمض٣ - فوسفو الجليسريك بالأنواع ثلاثية الكربون (C-3 species) . أما الأنواع الأخرى من النباتات التى تتكون فيها مركبات كربونية رباعية كناتج وسطى للبناء الضوئى فتعرف بالأنواع رباعية الكربون (C-4 plants) ، ومعظمها من ذوات الفلقة الواحدة .

ويبدو أن التفاعل فى النباتات رباعية الكربون يتم باتحاد ك ا٢ وحمض الفوسفو إينول بيروفيك مكوناً حمض الأكسالو خليك والفوسفات . وعادة ما يصعب العثور على هذا الحمض الأخير كناتج لعملية البناء الضوئى نظراً لصعوبة فصله بالطرق اللونية. ويساعد التفاعل السابق إنزيم كاربوكسيليزى هو كاربوكسيليز الفوسفو إينول بيروفات (Phosphoenol pyruvate carboxylase) .

(شكل ٣٧٢)



دورة كالفن كاملة : المختصرات AGP3 = حمض ٣ - فوسفو الجليسريك ؛ 1,3diPGA. = حمض ١، ٣ ثنائي فوسفو الجليسريك ، DHAP = فوسفات الأسينون ثنائية الايدروكسيد ، E4P = إريثرور - ٤ - فوسفات ، FDP = فركتوز - ١، ٦ - ثنائي الفوسفات ، F6P = فركتوز - ٦ - فوسفات ، SDP = سيدوهبتيولوز - ١، ٧ - ثنائي الفوسفات ، S7P = سيدوهبتيولوز - ٧ - فوسفات ، Ri5P = ريبوز - ٥ - فوسفات = Xyl-5P = زيلولوز - ٥ - فوسفات ، Ru5P ريبيولوز - ٥ - فوسفات ، RuDP = ريبيولوز - ١، ٥ - ثنائي الفوسفات ، 3-PGald الدهيد ٣ - فوسفو الجليسريك .

(عن سالسبوري و روس ١٩٧٨)

ويعقب ذلك تكون حمض الماليك فى وجود إنزيم ديهيدروجينيز الماليك ومانح الإلكترونات ن ا ث فو يد . ومن حمض أكسالو الخليك يتكون حمض الأسبارتيك فى وجود الألانين كمانح لمجموعة الأمين . وهكذا فكل النواتج الوسطية فى مسار هاتش — سلاك للبناء الضوئى رباعية الكربون ومن هنا كانت تسمية النباتات التى يتم فيها هذا المسار بالأنواع رباعية الكربون . وسنكتفى فى هذا المجال بهذه العجالة القصيرة .

البناء الضوئى والكيميائى فى البكتيريا

تستطيع بعض الكائنات الدقيقة — وخاصة البكتيريا — بناء المواد العضوية الغنية بالطاقة من ثانى أكسيد الكربون والماء . وتحصل بعض هذه البكتيريا على الطاقة اللازمة لهذا البناء من الضوء كما يحدث فى النباتات الخضراء ، غير أن بعضها الآخر يحصل على الطاقة اللازمة من أكسدة بعض المواد غير العضوية مثل النوشادر أو كبريتيد الإيدروجين أو الكبريت أو الإيدروجين أو الحديد فى صورته المختزلة كما فى كربونات الحديدوز .

والبكتيريا التى تستمد الطاقة اللازمة للبناء من الضوء تحتوى على كلوروفيل بكتيرى وأصباغ أخرى شبه كاروتينية ومن أهم أنواعها بكتيريا الكبريت الخضراء وبكتيريا الكبريت الأرجوانية . ولا يختلف البناء الضوئى فى هذه البكتيريا عن مثيله فى النباتات الخضراء العادية إلا فى نوع المانح الإيدروجينى المستعمل ، فعلى حين يستخدم الماء فى النباتات العادية فإن بكتيريا الكبريت الخضراء والأرجوانية تستخدم كبريتيد الإيدروجين ، وعلى ذلك لا يتصاعد الإيدروجين من كبريتيد الإيدروجين ، كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

(نباتات خضراء) :

(طاقة ضوئية)

٦ ك ا٢ + ١٢ يد٢ ا ——→ ك٦يد١٢ا٦ + ٦ يد٢ا + ٦ا٢

(بكتيريا الكبريت الخضراء أو الأرجوانية) :

(طاقة ضوئية)

٦ كا٢ + ١٢ يد٢كب ——→ ك٦يد١٢ا٦ + ٦ يد٢ا + ١٢ كب

وفى بكتيريا الكبريت الخضراء يتأكسد كبريتيد الإيدروجين إلى عنصر الكبريت فقط ، أما فى بكتيريا الكبريت الأرجوانية فإنه يتأكسد إلى الكبريتات وليس هذا فحسب بل أن هذه البكتيريا الأخيرة قد تستعمل مواد عضوية أخرى كمانحة للإيدروجين مثل الأحماض العضوية ، كما أنها قد تستعمل الإيدروجين الجزيئى .

وفى بعض أنواع البكتيريا الأخرى تكون الطاقة المستخدمة فى بناء المواد الكربوإيدراتية مستمدة من تأكسد بعض المواد غير العضوية . ولما كانت الطاقة المنطلقة من عمليات الأكسدة هى طاقة كيميائية ، فقد أطلق على عملية بناء المواد الكربوإيدراتية التى تتم على حساب هذه الطاقة « البناء الكيميائى » (Chemosynthesis) ، وذلك تمييزاً لها عن البناء الضوئى الذى تستخدم فيه الطاقة الضوئية . والبكتيريا التى تقوم بالبناء الكيميائى هوائية لا تحتوى على أصباغ ، ومن أمثلتها بكتيريا النيترة وبكتيريا الكبريت عديمة اللون وبكتيريا الحديد وبكتيريا الإيدروجين .

ومن بكتيريا النيترة بكتيرة النيتروسوموناس (**Nitrosomonas**) ، التى تؤكسد النوشادر أو أملاحه إلى حمض النيتروز أو أملاحه (النيتريت) كما فى المعادلة :

٢ نيد$_{٣}$ + ٣ ا$_{٢}$ ← ٢يدنا$_{٢}$ + ٢ يد$_{٢}$ا + ٧٩ كجم سعر

ويتأكسد حمض النيتروز الناتج من هذا التفاعل إلى حمض النيتريك فى وجود بكتيريا أخرى هى النيتروباكتر (**Nitrobacter**) وذلك كما فى المعادلة :

٢ يدنا$_{٢}$ + ا$_{٢}$ ← ٢ يدنا$_{٣}$ + ٢١٫٦ كجم سعر

وتستخدم الطاقة النـــاتجة من عمليات التأكسد السابقة فى بنـــاء المواد الكربوإيدراتية فى هذين النوعين من البكتيريا اللذين يوجدان بكثرة فى التربة الخصبة ، ولنشاطها تأثير كبير فى زيادة المحتوى النيتروجينى لها .

وتؤكسد بكتيريا الكبريت مادة كبريتيد الإيدروجين ، وتتم الأكسدة فى خطوتين : تشتمل الأولى على تكوين الكبريت الذى يظهر على هيئة

حبيبات فى بروتوبلازم خلايا البكتيريا ، وتشمل الخطوة الثانية أكسدة هذا الكبريت إلى حمض الكبريتيك . وذلك كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

٢يد$_{٢}$كب + ا$_{٢}$ ← ٢كب + ٢يد$_{٢}$ا + ٦٥ كجم سعر

٢كب + ٢يد$_{٢}$ا + ٣ا$_{٢}$ ← ٢يد$_{٢}$كبا$_{٤}$ + ٢٨٣,٦ كجم سعر

ولا يتراكم حمض الكبريتيك الناتج ، بل يتفاعل مباشرة مع القواعد الموجودة فى الخلية مكوناً الكبريتات ، وذلك كما فى المعادلة :

يد$_{٢}$كبا$_{٤}$ + كاكا$_{٣}$ ← كاكبا$_{٤}$ + كا$_{٢}$ + يد$_{٢}$ا

وتستخدم البكتيريا الطاقة الناتجة من الأكسدة فى بناء السكرات من ثانى أكسيد الكربون الذائب فى الماء .

أما بكتيريا الحديد فتؤكسد مركبات الحديدوز إلى الحديديك كما يلى :

٤حكا$_{٣}$ + ا$_{٢}$ + ٦يد$_{٢}$ا ← ٤ح (ايد)$_{٣}$ + ٤كا$_{٢}$ + ٨١ كجم سعر

وتحصل بكتيريا الإيدروجين على الطاقة اللازمة للبناء الكيميائى للمواد العضوية فى خلاياها من تأكسد الإيدروجين الذى يمثله التفاعل الآتى :

٢يد$_{٢}$ + ا$_{٢}$ ← ٢يد$_{٢}$ا + ١٣٧ كجم سعر

وقد وجد روهلاند (Ruhland) أن بعض أنواع بكتيريا الإيدروجين تمتص من الإيدروجين ضعف ما تمتصه من الأكسيجين تقريباً ، وعزى هذا إلى أن الإيدروجين يستخدم — بالإضافة إلى التفاعل السابق — فى اختزال ثانى أكسيد الكربون لتكوين مواد الخلية ، وذلك كما يلى :

٢يد$_{٢}$ + كا$_{٢}$ ← (كيد$_{٢}$ا) + يد$_{٢}$ا + ١١٢ كجم سعر

ويقترن هذا التفاعل الأخير — الماص للحرارة — مع التفاعل الأول الطارد للحرارة .

وبكتيريا البناء الكيميائى والضوئى لا تقوم بدور يذكر فى الإنتاج الكربوإيدراتى إذا ما قورنت بالنباتات الخضراء . وقد كان لدراستها أهمية خاصة فى إظهار الطبيعة الكيميائية لعملية البناء الضوئى فى النباتات الخضراء .

الباب السادس والثلاثون

الأيض النباتى

يستعمل اصطلاح « الأيض » (Metabolism) للدلالة على التحولات الكيميائية – من بناء وهدم – التى تحدث فى الخلايا الحية . وتتضمن عمليات الأيض البنائى (Anabolism) التفاعلات التى تؤدى إلى تكوين مواد عضوية معقدة من مواد بسيطة ، أما عمليات الأيض الهدمى (Katabolism) فتشتمل على تفكيك المواد العضوية إلى مواد أبسط منها تركيباً . وتقترن عمليات البناء عادة بامتصاص الطاقة ، أما عمليات الهدم فتنطلق فى أثنائها الطاقة .

وقد تناولنا فى البابين السابقين أهم عمليات الهدم والبناء – وهما التنفس والبناء الضوئى – على أنه لكى تكون الصورة الكاملة للتحولات الغذائية مفهومة للدارس ، فإن وصفاً مختصراً لبعض المركبات العضوية الهامة فى النبات سيكون موضوع هذا الباب . وهذه المركبات هى : الكربوإيدراتات والبروتينات والدهون ، وهى التى تعرف عادة بالمواد الغذائية .

(ا) الأيض الكربوإيدراتى

تكون المواد الكربوإيدراتية قسما هاماً من مجموعة المواد العضوية التى توجد فى النبات ، وهى تشتمل على المادة السكرية الناتجة من عمليات البناء الضوئى ، والمواد الداخلة فى تركيب الجدار الخلوى ، وبعض مواد الادخار الهامة كالنشا ومواد أخرى أقل أهمية توجد بكميات ضئيلة فى الخلايا النباتية . وفى الواقع يعتبر السكر المتكون فى أثناء البناء الضوئى مصدراً لكل هذه الأنواع المختلفة من المواد الكربوإيدراتية .

وتتركب المواد الكربوإيدراتية من عناصر الكربون والإيدروجين والأكسجين ، ويوجد العنصران الأخيران فى جزيئات معظمها بنسبة وجودهما فى الماء ، ولذلك تشترك معظم مواد هذه المجموعة فى القانون الأولى لـ$C_m(H_2O)_n$.

والكربوإيدراتات الشائعة فى النباتات يمكن تقسيمها على النحو التالى :

١ - أحاديات التسكر (Monosaccharides) : وأهمها يوجد منها قسمان ، الأول تحتوى جزيئاته على خمس ذرات من الكربون ويعرف بالسكرات الخماسية أو البنتوزات (Pentoses) مثل الزيلوز (Xylose) والأرابينوز (Arabinose) والريبوز (Ribose) ، أما القسم الثانى فتحتوى جزيئاته على ست ذرات من الكربون ويعرف بالسكرات السداسية أو الهكسوزات (Hexoses) مثل الجلوكوز والمانوز والجالاكتوز والفركتوز .

٢ - ثنائيات التسكر (Disaccharides) : مثل السكروز والمولتوز والسلوبيوز واللاكتوز .

٣ - ثلاثيات التسكر (Trisaccharides) مثل الرافينوز .

٤ - عديدات التسكر (Polysaccharides) مثل النشا والسليلوز والمواد البكتية .

وأحاديات التسكر لا يمكن تحليلها إلى مواد سكرية أبسط منها ، وهى تتميز إلى سكرات ألدهيدية (Aldoses) وسكرات كيتونية (Ketoses) ، ويحتوى جزئ السكر الألدهيدى على مجموعة ألدهيدية (ا = كـ) ، أما
|
يد
جزئ السكر الكيتونى فيحتوى على مجموعة كيتونية (= ك = ا) .

أما ثنائيات وثلاثيات التسكر فتعتبر سكرات مركبة تتحلل إلى أبسط منها فينتج عن التحليل المائى لجزئ ثنائى التسكر جزيئان من أحاديات التسكر ، أما الجزئ فى ثلاثيات التسكر فينتج ثلاثة جزيئات . وأحاديات التسكر التى تتكون منها كل السكرات المركبة الهامة فى النبات هى من نوع الهكسوز . وقد تكون جزيئات الهكسوز المكونة للسكر المركب كلها من نوع واحد أو من أكثر من نوع واحد ، ويتوقف هذا على نوع السكر المركب .

ويطلق عادة على أحاديات وثنائيات وثلاثيات التسكر لفظ السكرات ، ومعظمها مواد بالمورية حلوة المذاق وتذوب فى الماء .

الخواص العامة للسكرات :

تتميز السكرات إلى سكرات مختزلة وأخرى غير مختزلة ، ويمكن معرفة ذلك بإضافة محلول فهلنج (Fehling's solution) إلى محلول السكر ، فعند التسخين يحول السكر المختزل إيدروكسيد النحاسيك فى المحلول الكاشف إلى أكسيد نحاسوز ، الذى يظهر فى صورة راسب أحمر ؛ وتعزى الخواص الاختزالية للسكر إلى وجود المجموعة الألدهيدية أو الكيتونية ، وكلتاهما قابلة للتأكسد . ولما كانت أحاديات التسكر تحتوى جزيئاتها على إحدى هاتين المجموعتين فجميعها سكرات مختزلة . أما السكرات المركبة فتعتمد قدرتها الاختزالية على الطريقة التى ترتبط بها الوحدات المكونة للجزئ ، فإذا تم هذا الارتباط على حساب المجموعات الألدهيدية والكيتونية كان السكر المركب غير مختزل .

ومن المألوف فى السكرات أن الكثير منها يشترك فى القانون الجزيئى الواحد ، ولذلك يكثر بينها التشابه ، وقد يكون هذا التشابه تركيبياً (Structural) أو فراغياً (Stereochemical) ، وفى النوع الأول تحتوى المواد المتشابهة على نفس الذرات وبكميات متساوية ولكنها تختلف فى المجموعات الذرية ، فالجلوكوز والفركتوز يشتركان فى القانون الجزيئى ($ك_٦ يد_{١٢} ا_٦$) إلا أن الأول يحتوى على مجموعة ألدهيدية والثانى على مجموعة كيتونية .

أما السكرات التى تتشابه فراغياً فتحتوى على نفس المجموعات الذرية ، غير أن هذه المجموعات تترتب بنظم مختلفة فى الفراغ حول ذرات الكربون غير المتناظرة ، فالسكران اليمينيان المانوز والجلوكوز يختلفان فى وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الثانية فى جزئ كل منهما ، كذلك يختلف السكران اليمينيان الجلوكوز والجالاكتوز من حيث وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الرابعة فى جزئ كل منهما .

ذرات كربون		
١	ا = ك — يد (مجموعة ألدهيدية)	يد ا يد٢ ك
٢	يد أ — ك — يد	ا = ك (مجموعة كيتونية)
٣	يد — ك — أيد	يد — ك — أيد
٤	يد ا — ك — يد	أ — ك — أيد
٥	يد ا — ك — يد	يد ا — ك — يد
٦	يد ا يد٢ ك	يد ا يد٢ ك
	(الجلوكوز اليميني)	(الفركتوز اليميني)

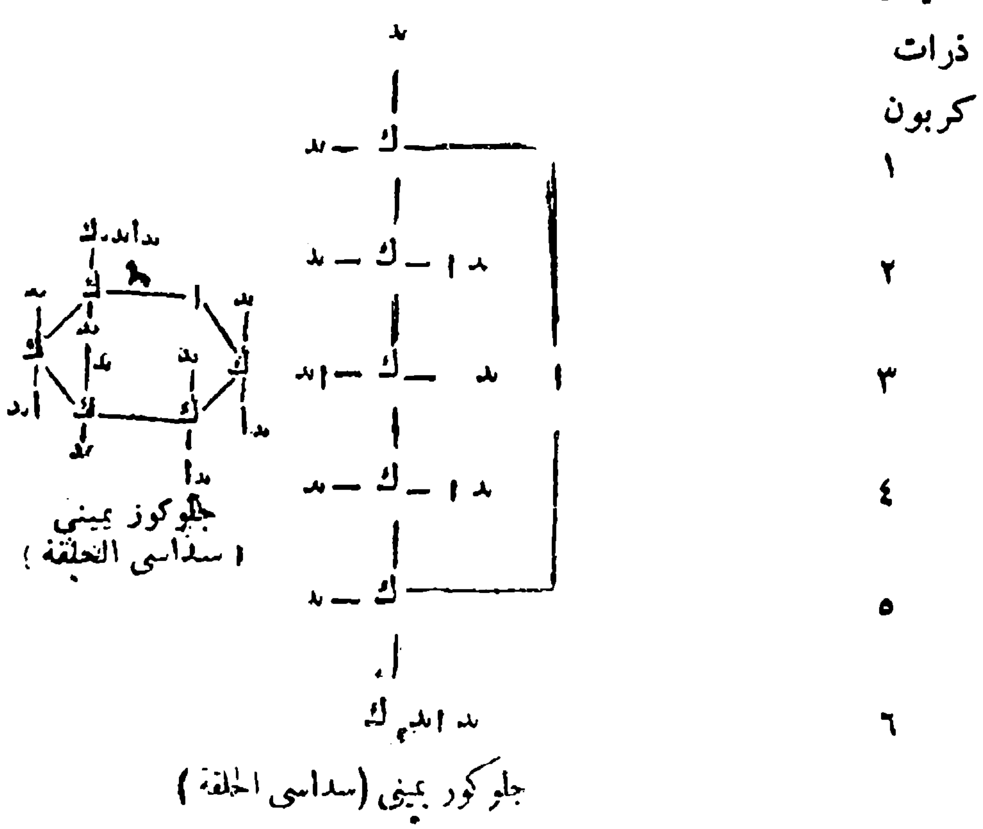
ذرات كربون		
١	ا = ك — يد	ا = ك — يد
٢	يد — ك — أيد	يد ا — ك — يد
٣	يد — ك — أيد	يد — ك — أيد
٤	يد ا — ك — يد	يد — ك — أيد
٥	يد ا — ك — يد	يد ا — ك — يد
٦	يد ا يد٢ ك	يد ا يد٢ ك
	(المانوز اليميني)	(الجالاكتوز اليميني)

وفى كل السكرات أحادية التسكر اليمينية توجد مجموعة الإيدروكسيل على يمين ذرة الكربون الملاصقة للمجموعة الطرفية (كيدرايد) . فإذا ما وجدت مجموعة الإيدروكسيل على يسار ذرة الكربون هذه سمى السكر يساريا أى أن لكل سكر صورتين متشابهتين فراغيا . ولما كانت المواد التى تحتوى على ذرات كربون غير متناظرة تتميز دائماً — عندما تكون فى صورة محلول — بقدرتها على أن تحدث انحرافا فى المستوى الذى يسير فيه الضوء المستقطب * ، فإن إحدى الصورتين تسبب انحراف الضوء المستقطب ناحية اليمين (أى فى اتجاه عقرب الساعة) بينما تسبب الصورة الأخرى انحرافه ناحية اليسار (أى فى عكس اتجاه عقرب الساعة) ويرمز للاتجاه الأول بالعلامة (+) وللاتجاه الثانى بالعلامة (—) ، إذ أن لفظى يمينى ويسارى السابقين لا يمثلان اتجاه الانحراف فى مستوى الضوء المستقطب ، كما أنه ليس من الممكن تحديد الصورة التى تسبب الانحراف فى أى الاتجاهين . والجلوكوز الذى يوجد فى النبات يمينى الدورة (+) أما الفركتوز فيسارى الدورة (—).

وقد دلت أبحاث كثير من العلماء على أن الجلوكوز — وغيره من الهكسوزات لها من الخواص الكيميائية ما يوحى بأنها توجد فى المحلول فى صورة حلقة مغلقة بالإضافة إلى التركيب المفتوح الذى سبق ذكره ، والتركيب الحلقى فى جزئ الجلوكوز مثلا يتم باتصال ذرتى الكربون الأولى والخامسة بوساطة ذرة أكسيجين. وعندئذ تتكون مجموعة إيدروكسيل جديدة عند الطرف الألدهيدى للجزئ ويصبح عدد ذرات الكربون غير المتناظرة خمساً بدلا من أربع فى

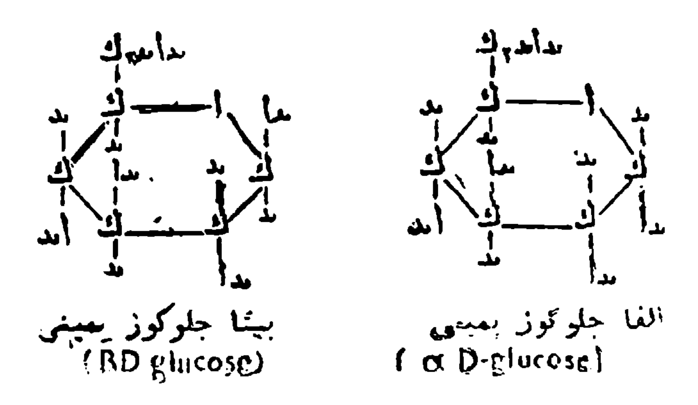
(*) من المعروف أن الأشعة فى حزمة ضيقة تتذبذب فى جميع المستويات ، غير أن هناك منشورات معينة لها القدرة على وقف الذبذبات فى كل المستويات فيما عدا مستوى واحد، ويطلق على الضوء المار خلال هذه المنشورات اسم « الضوء المستقطب »Polarized Light. فإذا سمح لهذا الضوء بالمرور خلال محلول السكر أو مادة مشابهة له فإن المستوى الذى تسير فيه الذبذبات ينحرف ، ويمكن توضيح ذلك بوضع منشور ثان فى مسار الضوء الخارج من المحلول ، فالمقدار الذى يدار به هذا المنشور الثانى يميناً أو يساراً بالنسبة لوضعه الأصلى — حتى يسمح للضوء بالمرور خلاله — يبين مقدار انحراف الضوء المستقطب واتجاهاته .

التركيب المفتوح . وفى الفركتوز يكون التركيب الحلقى بين ذرتى الكربون الثانية والسادسة .



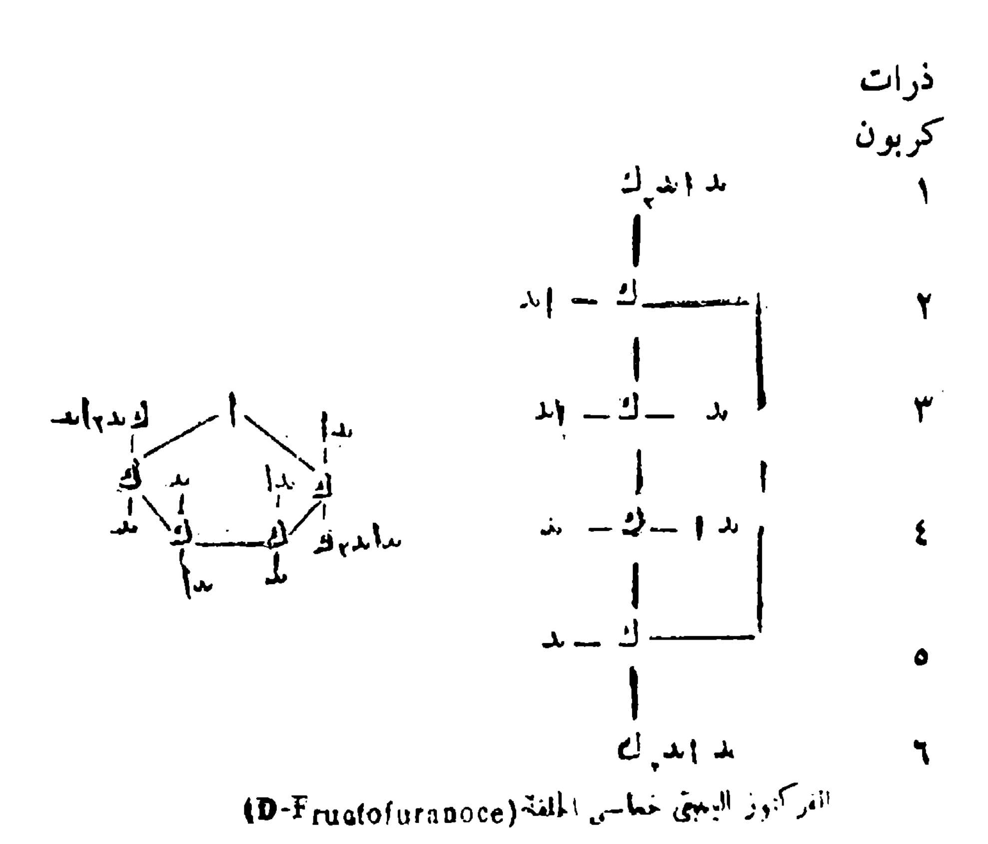
جلوكوز يمينى (سداسى الحلقة)

وعلى حسب وضع مجموعة الإيدروكسيل المتكونة بالنسبة لبقية الجزئ يتميز الجلوكوز الحلقى إلى صورتين – ألفا وبيتا – تختلفان فى خواصهما فالأولى مثلا دورتها اليمينية (+ ١١٣°) أما الثانية فدورتها (+ ١٩°) .


بيتا جلوكوز يمينى (BD glucose)
الفا جلوكوز يمينى (α D-glucose)

والتركيب الحلقى سداسى عادة (Pyranose ring) غير أنه فى بعض الأحيان قد يكون خماسياً (Furanose) ، وفى هذه الحالة يكون السكر نشطاً

غير ثابت كما فى حالة الفركتوز النشط المعروف باسم « جاما فركتوز » وفيه تتكون الحلقة بارتباط ذرتى الكربون الثانية والخامسة بذرة من الأكسيجين كما يلى :



الفركتوز اليمنى خماسى الحلقة (D-Fructofuranoce)

وهذه الصورة النشطة للفركتوز هى التى يوجد عليها فى السكروز وعديدات التسكر المختلفة .

أحاديات التسكر

سبق أن ذكرنا أن هذه السكرات تنقسم تبعاً لعدد ذرات الكربون الداخلة فى تركيب جزىء كل منهما إلى سكرات خماسية — أى بنتوزات — وقانونها الجزيئى ($ك_{٥} يد_{١٠} ا_{٥}$) ، وسكرات سداسية — أى هكسوزات — وقانونها الجزيئى ($ك_{٦} يد_{١٢} ا_{٦}$) وسنقصر الكلام هنا على السكرات السداسية .

وأهم السكرات السداسية الموجودة فى النبات هى السكرات اليمينية ، الجلوكوز (سكر العنب أو الدكستروز) والفركتوز (سكر الفواكه

أو الليفيولوز) والمانوز والجالاكتوز ، ويوجد السكران الأولان بكثرة فى صورة غير مرتبطة وذائبين فى السيتوبلازم أو فى فجوة كل الخلايا النباتية تقريباً ، ويكثر الفركتوز خاصة فى كثير من الفواكه حيث تزيد كميته على كل من الجلوكوز والسكروز ، ويتحول الجلوكوز والفركتوز كل منهما إلى الآخر فى النبات بسهولة وسرعة ، كما أنهما مادتا استهلاك أساسية لعملية التنفس . ونواتج تكثف الجلوكوز هى النشا والسليلوز ، ويدخل كذلك فى تركيب كثير من السكرات ثنائية وثلاثية ورباعية التسكر . أما ناتج تكثف الفركتوز فهو الإنيولين الذى يكون مادة الادخار فى كثير من النباتات مثل نباتات الفصيلة المركبة ، ويدخل الفركتوز كذلك فى تركيب السكروز وفى كثير من ثلاثيات ورباعيات التسكر .

أما المانوز والجالاكتوز فيوجدان بكميات ضئيلة جداً فى صورة حرة ، ولكنهما يدخلان فى تركيب بعض عديدات التسكر المكونة للجدار الخلوى . ويدخل الجالاكتوز فى تركيب اللاكتوز والرافينوز وغيرهما من المواد السكرية.

ثنائيات التسكر

وتتكون هذه السكرات بتكاثف جزيئين من جزيئات السكرات أحادية التسكر ، وقد يكون الجزيئان المتكاثفان من نوع واحد أو من نوعين مختلفين ويتم التكاثف بانتزاع جزىء من الماء ، وتشترك فى الرابطة الجليكوسيدية المتكونة إحدى المجموعتين المختزلتين فى السكرين المتحدين على الأقل . وقد تشترك المجموعتان كلتاهما ، وفى هذه الحالة يكون ثنائى التسكر الناتج غير مختزل . وثنائيات التسكر الطبيعية مشتقة من الهكسوزات ، ويمثلها القانون الجزيئى ($ك_{١٢}يد_{٢٢}أ_{١١}$) ، وأهم ما يوجد منها فى النبات السكروز (سكر القصب) والمولتوز (سكر الشعير) والسلوبيوز .

ويعد السكروز أهم ثنائيات التسكر التى توجد منفردة فى النباتات الراقية وقد يصل تركيزه فى سيقان قصب السكر وجذور البنجر إلى ٢٠ ٪ من وزنها

الرطب ، والسكروز ليس سكراً مختزلا ، أى أن الرابطة الجليكوسيدية فيه تتكون من المجموعتين المختزلتين . ويتحلل السكروز بمساعدة إنزيم السكريز (Sucrase) أو الإنفرتيز (Invertase) ، وكذلك إذا عومل بحمض مخفف ، وينتج عن التحلل كميتان متساويتان من الجلوكوز والفركتوز اليمينيين .

والسكروز أحد النواتج الأولى لعملية البناء الضوئى ، كما أنه يتكون فى الأوراق إذا تركت مدة كافية فى الظلام على محلول من الجلوكوز أو الفركتوز ومعنى هذا أن الخلايا الحية تستطيع تحويل الجلوكوز إلى الفركتوز والعكس ثم بناء السكروز منهما . ويتم بناء السكروز فى النبات بمساعدة إنزيم ففوسفوريليزى هو فوسفوريليز السكروز . ففى وجود هذا الإنزيم يتفاعل الجلوكوز - ١ - فوسفات والفركتوز ليكونا السكروز والفوسفات غير العضوية .

ويساعد الإنزيم التفاعل العكسى كما يساعد التفاعل الطردى ومن ثم توجد فى النبات آليتان لتحليل السكروز ، على حين لا توجد غير آلية واحدة لبنائه.

وعلى الرغم من أن وجود إنزيم فوسفوريليز السكروز فى بعض الكائنات الدقيقة يبرهن على وجود ميكانيكية إنزيمية لتكوين هذا السكر الثنائى الهام ، فإن هذا المسار لا يبدو قائماً بالنسبة لبناء السكروز فى النباتات الراقية . وقد اكتشف فى النباتات الأخيرة مجموعة إنزيمية أخرى تتطلب وجود مرافق إنزيمى من مجموعة نيوكليوتيد اليوريدين واتضح أن لها دوراً فى نقل مجموعة الجلوكوسايل .

وتوجد تلك المجموعة من المرافقات الإنزيمية فى صورة أحادية أو ثنائية أو ثلاثية الفوسفات ، ومن أهم خصائصها أنها تتكثف بسهولة مع مجموعة جلوكوسايل مكونة يوريدين فوسفات الجلوكوسايل كما يلى :

يوريدين ثلاثى الفوسفات + جلوكوز فوسفات ←

يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى + ٢ فوسفات .

وتنقل مجموعة الجلوكوسايل فى وجود إنزيم خاص من يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى إلى الفركتوز . ومن ثم يتكون السكروز فوسفات ويوريدين ثنائى الفوسفات كما يلى :

يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى + فركتوز — ٦ — فوسفات ⟵ (سينثيتيز السكروز)
يوريدين ثنائى الفوسفات + سكروز فوسفات .

ويتحرر السكروز من السكروز فوسفات بواسطة إنزيم الفوسفاتيز .

والسكر الثانى — وهو المولتوز — يندر وجوده فى النباتات فى حالة حرة ولـكنه يتكون عند إنبات البذور النشوية كحبات الشعير ، وذلك فى أثناء التحليل المائى للنشا المدخر فيها بوساطة الأمليزات . ويتركب جزىء المولتوز من وحدتين من الجلوكوز ، ترتبط ذرة الكربون الأولى فى إحداهما بذرة الكربون الرابعة فى الأخرى ، وبذلك تبقى المجموعة الألدهيدية المختزلة فى الوحدة الأخيرة فى حالة حرة وعلى ذلك فالمولتوز سكر مختزل ، تعادل قوته الاختزالية نصف القوة الاختزالية لوزن مكافىء من الجلوكوز .

ويتحلل المولتوز مائياً بمساعدة إنزيم المولتيز (Maltase) أو فى وجود حمض ويعطى فى الحالتين جزيئين من الجلوكوز اليمينى .

والسكر الثالث — وهو السلوبيوز — مختزل هو الآخر ، وينتج عن التحليل المائى للسليلوز بمساعدة إنزيم السليوليز (Cellulase) ، وعند التحليل المائى للسلوبيوز ينتج جزيئان من الجلوكوز اليمينى . ويختلف السلوبيوز عن المولتوز فى أنه يتكون بتكاثف جزيئين من بيتا جلوكوز ، أما جزىء المولتوز فيتكون بتكاثف جزيئين من ألفا جلوكوز . وعلى ذلك فإن الإنزيم الذى يحلل السلوبيوز لابد أن يكون بيتا جلوكوسيديز (B-Glucosidase) مثل الإمالسين.

(عديدات التسكر)

هى مركبات كربوإيدراتية معقدة ذات أوزان جزيئية عالية ، وتضم عدة مركبات مألوفة ومنتشرة فى المملكة النباتية . ويتكون جزىء عديد

التسكر بتكاثف عدد كبير من جزيئات السكر أحادية التسكر وغالباً ماتكون الجزيئات المتكاثفة من نوع واحد كما هو الحال فى النشا والسليلوز اللذين يتكونان من الجلوكوز اليمينى ، وقد يتكون عديد التسكر من نوعين أوأكثر من جزيئات السكرات السابقة كما فى المواد الصمغية والمخاطية . وعديدات التسكر – على النقيض من السكرات – ليست حلوة المذاق ، كما أن أغلبها لايذوب فى الماء أو يذوب فيه بدرجة ضئيلة ، ويكون بعضها مع الماء محاليل غروانية محبة لوسط الانتشار .

ومن أمثلة عديدات التسكر التى توجد فى النبات ما يأتى :

النشا : يعد النشا من أكثر المركبات الكربوإيدراتية شيوعاً فى النبات فهو مادة الادخار الأساسية فى معظم النباتات الراقية ، فيختزن بكميات كبيرة فى البذور حيث يستهلك فى وقت الإنبات . وكذلك يختزن فى الدرنات والجذور ويتكون النشا فى الأوراق فى أثناء عملية البناء الضوئى ، ويتم تكوينه فى البلاستيدات الخضر ، وقد يتراكم فيها ، غير أن تراكمه فى هذه الحالة يكون تراكما مؤقتاً .

وسواء تكون النشا فى البلاستيدات الخضر فى الأنسجة النباتية المعرضة للضوء أو فى البلاستيدات عديمة اللون فى الأنسجة البعيدة عن الضوء ، فإنه يتكون على شكل حبيبات مجهرية تتفاوت شكلا وحجما فى النباتات المختلفة ، وقد سبق شرح ذلك بالتفصيل فى الباب السابع الخاص بالخلية النباتية .

ويتحلل النشا عند غليه مع الأحماض المخففة ، ونظراً لتعقد جزيئاته فإن التحليل لايتم فى مرحلة واحدة بل على عدة خطوات ، يتكون فى كل منها دكسترين أقل تعقيداً من سابقه ، وتنتهى عملية التحليل بتكون الجلوكوز . وعلى حين يعطى النشا لونا أزرق إذا عومل بمحلول اليود فى يوديد البوتاسيوم فإن نواتج تحلله لاتعطى هذا اللون ، فالدكسترينات المعقدة تعطى مع اليود لوناً أرجوانياً ، أما الدكسترينات البسيطة فلا تعطى أى لون . وثنائى التسكر الوحيد الذى ينتج عند تحليل النشا هو المولتوز ، مما يوحى بأن الروابط فى

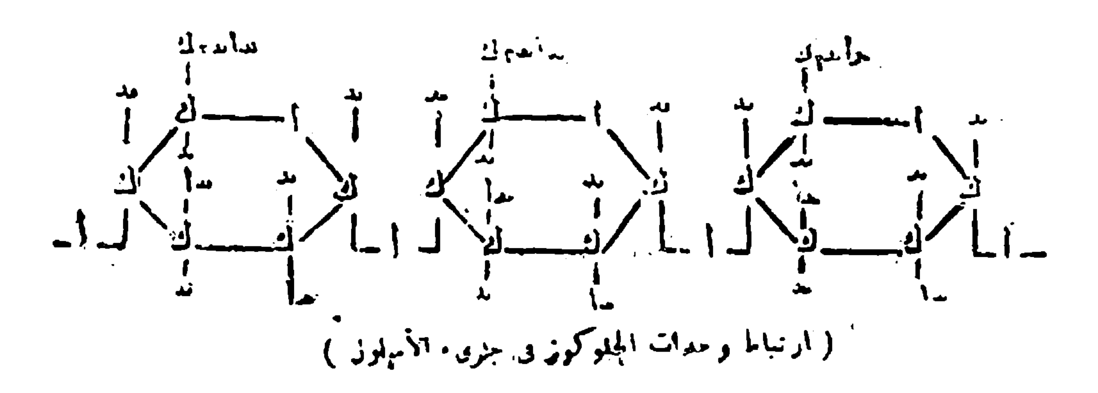
جزىء النشا هى من نفس النوع الذى يوجد بين وحدتى الجلوكوز فى جزىء المولتوز .

ويتركب النشا فى الواقع من مادتين هما الأميلوز (Amylose) والأميلوبكتين (Amylopectin) . ويكون الأميلوز نسبة تتراوح بين صفر و ٣٥٪ من وزن النشا ، وتتوقف تلك النسبة على نوع النبات ، فنشا البطاطس مثلا يحتوى على ٢٠٪ أميلوز ، أما نشا البسلة الناعمة فيحتوى على ٣٥٪ منه .

وتختلف المادتان فى خواصهما الطبيعية ، فالأميلوز أكثر ذوباناً فى الماء وأقل لزوجة فى المحلول من الأميلوبكتين ، كما أنه يعطى مع محلول اليود فى يوديد البوتاسيوم لوناً شديد الزرقة ، أما الأميلوبكتين فيعطى معه لوناً خفيفاً من الأزرق البنفسجى . كذلك تختلف المادتان بالنسبة لتأثير إنزيم « بيتا أميليز » (B-amylase) ، فعلى حين يتحلل الأميلوز جميعه إلى سكر المولتوز فإن الأميلوبكتين يتحلل إلى مخلوط من المولتوز والدكسترين . ويعزى هـــذا الاختلاف فى خواص المادتين إلى الاختلاف فى تركيب جزيئاتهما ، فجزئ الأميلوز يتكون من سلسلة مستقيمة غير متفرعة ترتبط فيها جزيئات الجلوكوز (ألفا جلوكوز) بعضها مع بعض بوساطة ذرات الأكسيجين ، ويحدث الارتباط بين ذرة الكربون (١) فى جزئ وذرة الكربون (٤) فى جزئ الجلوكوز الذى يليه .

وتحتوى سلسلة جزئ الأميلوز على ٣٠٠–١٠٠٠ وحدة جلوكوز .

أما جزئ الأميلوبكتين فأكثر تعقيداً ، ليس لاحتوائه على عدد أكبر

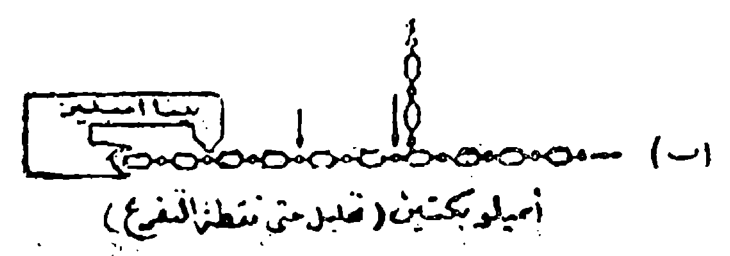


(ارتباط وحدات الجلوكوز فى جزىء الأميلوز)

من وحدات الجلوكوز فحسب ، ولكن لتكونه من سلاسل كثيرة التفرع . وقد تحمل كل سلسلة فرعية فى جزئ الأميلوبكتين سلاسل فرعية أخرى . ويبلغ عدد وحدات الجلوكوز فى الجزئ ٢٠٠٠ وحدة أو أكثر .

والطريقة التى يحلل بها الإنزيم « بيتا أميليز » مادتى النشا تعتمد كثيراً على هذا التركيب المقترح . فعندما يهاجم الإنزيم سلاسل الأميلوز غير المتفرعة فإنه يفصل من أطرافها بالتدريج وحدات من سكر المولتوز حتى يتم تحللها (شكل ٣٧٣ : ا) ، أما مهاجمته للأميلوبكتين فتقتصر على السلاسل الطرفية فقط ، يفصل منها وحدات المولتوز ثم يقف فعل الإنزيم عند نقط التفرع (شكل ٣٧٣ : ب) ويكون الجزئ المركزى المتبقى هو الدكسترين الناتج عند التحلل .

(شكل ٣٧٣)



الطريقة التى يهاجم بها انزيم « بيتا اميليز » جزيئى الاميلوز (ا) والاميلو بكتين (ب) . (عن حاسيد) .

ويتحلل النشا بإنزيم أميليزى آخر هو « ألفا أميليز » ، ويكون ناتج التحليل فى هذه الحالة دكسترينات تتركب جزيئاتها من ست أو إثنتى عشرة وحدة جلوكوز . ويقتصر عمل هذه الأميليزات فى النبات على تحليل النشا ، أى أنها لا تساعد الاتجاه البنائى . والمعروف الآن أن بناء النشا يتم من الجلوكوز - ١ - فوسفات فى وجود إنزيم آخر هو فوسفوريليز النشا . الذى أثبت هينز (Hanes) - عام ١٩٤٠ - وجوده فى بذور البسلة ودرنات

البطاطس وفى كثير من الأنسجة النباتية ، ومن بينها أنسجة الأوراق الخضراء التى يتكون فيها النشا . وتمثل المعادلة الآتية طبيعة التفاعل الذى يحدث فى وجود هذا الإنزيم وفيه تضاف وحدات الجلوكوز واحدة بعد الأخرى إلى الطرف غير المختزل لجزىء مستقبل ، ومن ثم يتم بناء جزئ أميلوز .

ن (جلوكوز -١- فوسفات) + مستقبل $\underset{\text{النشا}}{\overset{\text{فوسفوريليز}}{\rightleftharpoons}}$ أميلوز + فوسفات

ويساعد الإنزيم الاتجاه التحليلى كما يساعد الاتجاه البنائى ، ويتوقف ذلك على التركيزات النسبية للمواد المتفاعلة .

وثمة إنزيم آخر قادر على تكوين روابط (ألفا ١-٤) بإضافة وحدات من الجلوكوز إلى جزئ بادئ (Primer molecule) هو ترانس جلوكوزيليز يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز ، وقد اكتشف وجوده فى نباتات الفول والذرة والبطاطس حيث اتضح أنه يعمل على نقل الجلوكوز من يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز إلى جزئ بادئ (٣ وحدات ألفا ١-٤ جلوكوز أو أكثر) ، وهكذا تتتابع إضافة روابط جلوكوسيدية من النوع ألفا ١-٤ على النحو التالى :

يوريدين ثنائى الفوسفات جلوكوز + مستقبل $\xrightarrow[\text{Transglycosylase}]{\text{UDPG}}$

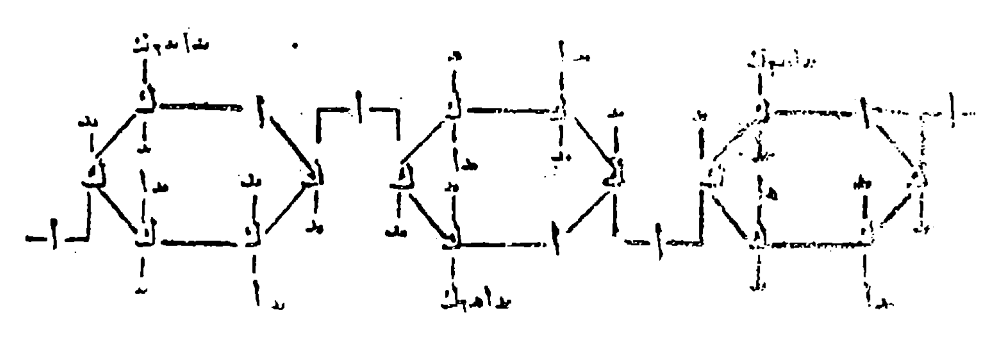
يوريدين ثنائى الفوسفات + ألفا (١-٤) جلوكوسايل المستقبل

والإنزيمات السابقة قادرة على بناء الروابط الجليكوسيدية ألفا (١-٤) . أما الروابط ألفا (١-٦) الموجودة فى النشا فيقوم ببنائها إنزيم آخر يعرف بإنزيم Q وقد ثبت وجوده فى البطاطس ، ويعمل هذا الإنزيم على ربط سلاسل صغيرة من نوع الأميلوز بذرة الكربون السادسة فى جزئ مستقبل ، وهكذا تتكون الفروع التى تميز الأميلوبكتين .

السليلوز : وهو المركب الأساسى فى جدر خلايا النباتات الراقية ، ويوجد فى حالة نقية تقريباً فى جدر ألياف القطن ، ولكنه يختلط عادة بغيره

من المواد كالكيوتين فى خلايا البشرة فى أعضاء النبات الهوائية ، وكاللجنين فى الأوعية الخشبية .

وجزيئات السليلوز عبارة عن سلاسل طويلة ومستقيمة ، تتكون بتكثف جزيئات بيتا جلوكوز ، ولا يقل ما يحتويه جزئ السليلوز منها عن ١٠٠٠ وحدة ، تتصل بعضها مع بعض بذرات أكسيجين تربط بين ذرة الكربون(١) فى جزئ وذرة الكربون (٤) فى الجزئ الذى يليه كما يتضح مما يلى :



(ارتباط وحدات الجلوكوز فى جزئ السليلوز)

ولا يذوب السليلوز فى الماء ولا فى المذيبات العضوية ، ولكنه يذوب فى إيدروكسيد النحاس النوشادرى ، ويتحلل تدريجياً فى وجود حمض الكبريتيك المركز معطيا الجلوكوز ، أما الحمض المخفف فيسبب انتفاخه وتحوله إلى السليلوز المائى (Hydrocellulose) . ولا يعطى السليلوز لوناً أزرق مع اليود إلا إذا عومل بحمض الكبريتيك المركز أولا .

ويتحلل السليلوز مائياً بمساعدة إنزيم السليوليز وينتج عن التحلل سكر السلوبيوز—وهو ثنائى تسكر—يتحلل مائياً إلى جزيئين من الجلوكوز فى وجود إنزيم السلوبييز (Cellobiase) . وتمثل المعادلتان الآتيتان ما يحدث من تفاعل :

(السليوليز)

(ك٦ يد١٠ أ٥)ن + ن يد٢ أ ⟵ ن ك١٢ يد٢٢ أ١١

(سليلوز) (سلوبيوز)

(السلوبييز)

ك١٢ يد٢٢ أ١١ + يد٢ أ ⟵ ٢ ك٦ يد١٢ أ٦

(سلوبيوز) (جلوكوز)

والإنزيمات المحللة للسليلوز ليست واسعة الانتشار كالأميليزات ، فهى لا توجد فى النباتات الراقية ، بل يقتصر وجودها على بعض الكائنات الدقيقة كالبكتيريا وبعض الفطريات .

(ب) الأيض النيتروجينى

بالرغم من أن مركبات النيتروجين توجد فى النبات بكمية أقل من المواد الكربوإيدراتية ، إلا أنها تعتبر فى المرتبة الأولى من الأهمية ، إذ أن بعض هذه المركبات — وهى البروتينات — تكون جزءاً أساسياً من البروتوبلازم نفسه ، وكذلك فإن الإنزيمات التى تقوم بدور هام فى وظائف الحياة المختلفة ليست إلا مركبات بروتينية ، وتوجد البروتينات أيضاً فى الخلايا النباتية على شكل غذاء مدخر ، وخاصة فى بذور كثير من النباتات وفى الدرنات . وبالإضافة إلى البروتينات — التى تساهم بالنصيب الأوفر فى بناء جسم النبات — يوجد عدد من المركبات النيتروجينية الأخرى يؤدى بعضها دوراً هاماً فى سائر العمليات الحيوية . ومن هذه المركبات المادة الخضراء (الكلوروفيل) والفيتامينات — التى تكون المراكز الفعالة للإنزيمات — وهومونات النمو والقلويدات .

والطريقة التى يتم بها بناء البروتينات وغيرها من المركبات النيتروجينية المعقدة من المركبات النيتروجينية البسيطة — التى يمتصها النبات من التربة — ليست معروفة على وجه التحديد ، كما هو الحال بالنسبة للمواد الكربوإيدراتية .

وسنبدأ بدراسة مختصرة لطبيعة وخواص البروتينات ، ثم نتناول بعد ذلك بشئ من التفصيل تحولات المواد النيتروجينية وأطوار البناء البروتينى .

البروتينات

البروتينات (Proteins) مركبات عضوية معقدة التركيب تتكون من الكربون (٥٠—٥٤٪) والإيدروجين (حوالى ٧٪) والنيتروجين (١٦—١٨٪) والأكسيجين (٢٠—٢٥٪) . وتحتوى كل البروتينات النباتية

تقريباً - بالإضافة إلى هذه العناصر - على نسبة ضئيلة من الكبريت لا تزيد على ٢٪ ، كما أن بعضها - وخاصة البروتينات النووية التى توجد فى الخلايا الحية - يدخل فى تركيبها الفوسفور .

وجزيئات البروتين كبيرة غاية الكبر ، حتى أن الوزن الجزيئى للجزيئات الصغيرة فيها يبلغ حوالى ١٦٠٠٠ ، أما جزيئات البروتينات المعقدة فتبلغ أوزانها الجزيئية عدة ملايين . وقد قدر الوزن الجزيئى لبروتين الفيروس المسبب لمرض التبقع فى التبغ بحوالى ٤٠ مليوناً .

وعلى الرغم من أن بعض البروتينات توجد فى صور ذائبة تماماً ، أو فى صورة متبلورة ، فإن معظمها تكون مع الماء محلولا غروانيا شبه مستحلب وتختلف أنواع البروتينات بالنسبة لذوبانها فى الماء ومحاليل الأملاح ، وتترسب البروتينات الذائبة بفعل المحاليل المركزة للأملاح المتعادلة مثل كلوريد الصوديوم وكبريتات النوشادر وكبريتات الماغنيسيوم ، ولكنها تعود إلى الانتشار مرة ثانية إذا ما خففت هذه المحاليل بالماء . وتتجمد البروتينات بالحرارة ويكون تجمدها غير عكسى ، فإذا ما سخنت فى الماء إلى درجة حرارة ٥٠°-١٠٠° م ظهر راسب ضخم من البروتين لا يعود إلى الذوبان بالتبريد .

وتتكون البروتينات بتكثف عدد من الأحماض الأمينية ، وقد تشترك فى تركيب جزيئاتها مجموعات أخرى . وإذا عوملت البروتينات بالأحماض أو القلويات أو الإنزيمات المناسبة فإنها تتحلل ، وينتج عن التحلل التام لجزيئاتها خليط من الأحماض الأمينية ، ولا يتم هذا التحلل دفعة واحدة بل على عدة خطوات ، تتكون فى كل منها مواد على درجة من التعقيد متوسطة بين البروتينات والأحماض الأمينية . وعلى حسب درجة التعقيد تتميز هذه المواد إلى : ميتابروتينات (Metaproteins) وبروتيوزات (Proteoses) وببتونات (Peptones) وعديدات الببتيد (Polypeptides) ، وكل مادة أو مجموعة من هذه المواد أقل تعقيداً من السابقة لها . وليس من السهل وضع حد فاصل بين البروتينات الحقيقية والمواد البسيطة ذات الصفات البروتينية التى تنتج عند

تحللها ، ولذلك كثيراً ما يطلق على البروتيوزات والببتونات وعديدات الببتيد اسم « البروتينات المشتقة » (Derived proteins) .

وتنقسم البروتينات الحقيقية فى النبات إلى :

١ — **بروتينات بسيطة** (Simple proteins) : وهى التى تنتج عند تحليلها أحماض أمينية أو مشتقاتها فقط . وأهم ما يوجد من هذه البروتينات فى النبات هى : الألبيومينات (Albumens) والجلوبيولينات (Globulins) والبرولامينات (Prolamins) والجلوتيلينات (Glutelins) .

وتحتوى كل هذه البروتينات على نسبة ضئيلة من الكبريت ، تعزى إلى دخول الحمض الأمينى « سيستاين » (Cystine) الذى يحتوى على الكبريت فى جزيئاته . وتوجد المجموعتان الأوليان من هذه البروتينات بكثرة فى النباتات . والبروتين المدخر فى معظم البذور يتألف أغلبه من الجلوبيولينات ، إلا أن الأخيرة لا توجد إلا نادراً فى الحبوب ، حيث يتكون البروتين المدخر من البرولامينات غير الذائبة .

٢ — **البروتينات التزاوجية** (Conjugated proteins) : وهى التى تنتج عند تحللها مواد أخرى علاوة على الأحماض الأمينية . وأهم بروتينات هذا القسم هى البروتينات النووية (Nucleoproteins) التى توجد فى بروتوبلازم كل الخلايا كما تكون المادة الكروماتينية فى الأنوية . وتتكون البروتينات النووية باتحاد البروتينات مع الأحماض النووية .

ويوجد فى النباتات عدد كبير من البروتينات المختلفة ، يختص كل نوع من النباتات بأنواع معينة منها ، وقد تتشابه البروتينات فى الأنواع المتقاربة من النباتات إلى حد كبير .

ولما كانت البروتينات تتكون أساساً من الأحماض الأمينية فقد أصبح من الضرورى أن نتناول بالشرح طبيعة وخواص هذه الأحماض قبل المضى فى التحدث عن البروتينات .

الأحماض الأمينية

هى أحماض عضوية حلت فيها مجموعة أو أكثر من مجموعات الأمين (ن يد٢) محل ذرة أو أكثر من إيدروجين المجموعات غير الكاربوكسيلية . وأبسط هذه الأحماض الأمينية هو الجلايسين (Clycine) أو حمض أمينو الخليك ويتكون هذا الحمض بإحلال مجموعة أمين محل ذرة إيدروجين واحدة من مجموعة الميثيل فى حمض الخليك .

ك يد٣ . ك ا ا يد　　　ك يد٢ (ن يد٢) . ك ا ا يد

(حمض الخليك)　　　(الجلايسين)

وفى الأحماض الأمينية الطبيعية ترتبط مجموعة الأمين — أو إحدى مجموعات الأمين إذا كان الحمض يحتوى على عدد منها — بذرة الكربون « ألفا » التى تلى المجموعة الحمضية (ك ا ايد) . والمعروف من الأحماض الأمينية التى تكون البروتينات عشرون ، وثمة عدد آخر يعتقد بعض الباحثين فى وجودها حرة ولا تدخل فى بناء البروتين ، وإن كانت حقيقة هذه الأحماض لم تتبين بعد .

ومجموعة الأمين قاعدية التفاعل أما مجموعة الكاربوكسيل فحمضية ، وعلى ذلك فالأحماض الأمينية تسلك مسلك الأحماض والقواعد . والأحماض الأمينية نشيطة فى تفاعلاتها ، يتحد بعضها مع بعض بسهولة لتكوين جزيئات أكبر ، ويتم الارتباط بين مجموعة الكاربوكسيل فى جزئ ومجموعة الأمين فى جزئ آخر وينطلق جزئ من الماء ، وتعرف الرابطة المتكونة برابطة الببتيد (Peptide linkage) — ك ا ن يد —

وعدد وحدات الأحماض الأمينية فى جزئ البروتين كبير ، يصل فى بعض الأحيان إلى بضع مئات تربطها روابط ببتيدية . وتختلف البروتينات اختلافاً كبيراً بالنسبة لنوع وعدد الأحماض الأمينية التى تكون جزيئاتها ، وليس من المحتم أن يشمل جزئ أى نوع من البروتين كل الأحماض الأمينية المعروفة .

صور النيتروجين التي يستعملها النبات ومصادرها :

تحصل النباتات الخضراء الراقية على حاجتها من عنصر النيتروجين بامتصاصها لمركباته التي توجد ذائبة في ماء التربة ، ولا يستثنى من هذه القاعدة إلا نباتات الفصيلة القرنية وقلة من أنواع النباتات التابعة لفصائل أخرى ، هي التي تستطيع دون غيرها من النباتات الراقية استعمال النيتروجين الجوى مباشرة ، وذلك بفضل البكتريا العقدية التي تعيش في جذورها وتتبادل معها المنفعة .

والمركبات النيتروجينية التي توجد في التربة وتمتصها النباتات الخضراء ذاتية التغذية هي : النيترات والنيتريت وأملاح النوشادر والمركبات النيتروجينية العضوية . وتتكون هذه المركبات في التربة الطبيعية نتيجة لتحلل المواد العضوية ، مثل بقايا النباتات والحيوانات وما يضاف إلى التربة من أسمدة عضوية كالسماد البلدى وغيره . ويقوم بعملية التعفن والتحلل أنواع كثيرة من الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة ، وسيرد ذكر بعضها في نهاية هذا الباب .

وعند دراسة امتصاص النباتات للأنواع السابقة من المركبات النيتروجينية باستعمال المزارع المائية والرملية اتضح أن أملاح النوشادر والنيترات هي أكثر هذه المركبات تعرضاً للامتصاص والاستنفاد ، وكثيراً ما تضاربت الآراء حول أفضليتهما للنبات . ويبدو أن الأنواع المختلفة من النباتات تتفاوت من حيث استعمالها لهذه المركبات النيتروجينية غير العضوية .

مراحل البناء البروتيني

تتضمن عملية البناء البروتيني مجموعة من التفاعلات يتم بوساطتها تحويل ما يمتص من نيترات أو أملاح نوشادر إلى بروتين ، ويبدو أن عملية البناء تتطلب نوعاً من الارتباط بين هذه المركبات النيتروجينية غير العضوية وبين المواد الكربوإيدراتية أو مشتقاتها . وعلى الرغم من أن هذا يحدث أساساً في

أعضاء التمثيل ، فليس هناك ما يدعو إلى الاعتقاد بأن البناء البروتيني لا يحدث في غير هذه الأعضاء ، ما دامت المواد الضرورية متوفرة .

وحيث أن النيتروجين موجود في البروتينات في صورة مختزلة (ـن يد$_{٢}$ ، ـن يد) ، فإنه قد يتبادر إلى الذهن أن أملاح النوشادر تكون أكثر ملاءمة لعملية البناء البروتيني من النيترات ، غير أن ذلك لا يتفق دائماً مع الواقع فالنيترات كمصدر للنيتروجين تعادل أملاح النوشادر ، إن لم تفضلها في كثير من الأحيان . ومن المعتقد أن النيترات الممتصة تختزل أولا إلى النيتريت ثم تختزل الأخيرة إلى النوشادر الذي يتفاعل مع الأحماض غير النيتروجينية المشتقة من الكربوإيدراتات ليكون الأحماض الأمينية. وتتكون البروتينات بتكاثف عدد من هذه الأحماض الأمينية .

يمكن إذن ، على ضوء ما سبق ، تقسيم عملية البناء البروتيني إلى المراحل الآتية :

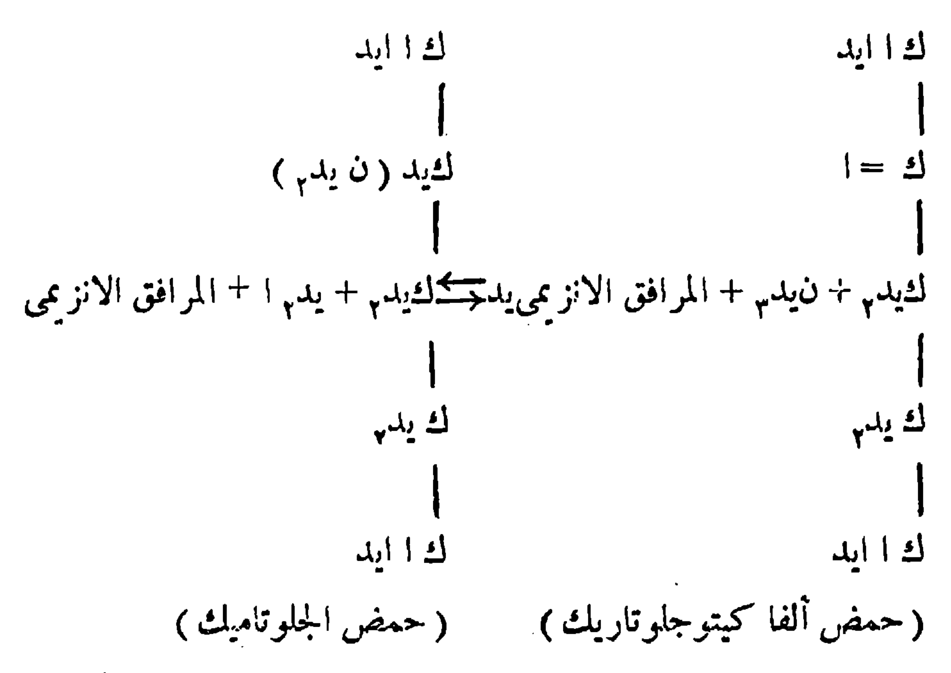
(١) اختزال مجموعة النيترات (ن ا$_{٣}$) إلى مجموعة الأمين (ن يد$_{٢}$)

والخطوات التي تسلكها عملية اختزال النيترات هي :

نيترات ← نيتريت ← نوشادر

ويساعد على اختزال النيترات أنزيمين هما ريدكتيز النيترات والنيتريت .

(٢) اتحاد مجموعات الأمين مع المركبات المشتقة من السكر الناتج من البناء الضوئي لتكوين عدد من الأحماض الأمينية . فحمض الجلوتاميك مثلا — وهو من الأحماض الأمينية التي تؤدي دوراً أساسياً في الأيض النيتروجيني يتكون في الخلايا النباتية بتفاعل النوشادر ، الذي ينتج عادة من اختزال النيترات ، مع الحمض الكيتوني ألفا كيتوجلوتاريك (∝-Ketoglutaric acid) الذي يتكون في أثناء تفاعلات دورة كربس ، وتوضح المعادلة الآتية التفاعل الذي يحدث :



ويساعد هذا التفاعل إنزيم دىهيدروجينيز الجلوتاميك (Glutamic dehydrogenasc) ، وهو شائع الانتشار فى النبات والحيوان على السواء ، ويتطلب عمله وجود المرافق الانزيمى . ويعرف مثل هذا التفاعل بالاختزال الأمينى (Reductive amination) ، أى اختزال الحمض الكيتونى بإدخال مجموعة الأمين فى جزيئه . ومن الممكن أن تتكون أحماض أخرى بنفس الطريقة مثل تكون حمض الأسبارتيك من حمض الأكسالوخليك ، والألانين من حمض البيروفيك .

وليس بناء الأحماض الأمينية فى النبات مقصوراً على مثل التفاعل السابق بل إن حمض الجلوتاميك يمكن أن يمنح مجموعة الأمين إلى مركبات أخرى ليكون أحماضاً أمينية جديدة ، وتعرف هذه العملية بالانتقال الأمينى (Transamination) ، ومن أمثلتها ما يحدث بين حمض الجلوتاميك وحمض الأكسالوخليك ويؤدى إلى تكوين حمض ألفا كيتوجلوتاريك وحمض الأسبارتيك . وقد تمكن ويلسون ورفاقه - عام ١٩٥٤ - من تكوين ١٧ حمضاً أمينياً مختلفاً بتفاعل حمض الجلوتاميك مع الأحماض الكيتونية المناسبة . وتساعد مثل هذه التفاعلات مجموعة من الإنزيمات تعرف بناقلات الأمين (Transaminases) .

(٣) تكاثف الأحماض الأمينية لتكوين جزىء البروتين . ويتم ارتباط الأحماض الأمينية بعضها مع بعض عن طريق المجموعات الأمينية (الفا) والكاربوكسيلية. وقد نجح إميل فيشر (Emil Fisher) فى بناء عديدات ببتيد تنتظم فيها الأحماض الأمينية فى سلاسل . وأولى مراحل بناء عديد الببتيد هى ربط حمضين أمينيين فى مركب أطلق عليه فيشر « ثنائى الببتيد » (Dipeptide) وذلك مثل الجلايسايل جلايسين (Clycyl-glycine) والألانايل ألانين (Alanyl-alanine) ، وفى كل منهما ترتبط مجموعة الكاربوكسيل فى أحد الحمضين بمجموعة الأمين فى الحمض الآخر ، أى تتكون بينهما رابطة ببتيدية فمثلا عند تكوين ثنائى الببتيد الجلايسايل جلايسين :

ك ا ا يد
|
ك يد٢ — ك ا | ا يد + يد | ن يد — ك يد٢ ←
|
ن يد٢

ك ا ا يد
|
ك يد٢ — ك ا — ن يد — ك يد٢ + يد٢ ا
|
ن يد٢

(جلايسايل جلايسين)

يلاحظ أن ثنائى الببتيد المتكون ما زال يحتوى جزيؤه على مجموعة أمينية وأخرى كاربوكسيلية فى حالة حرة أى قابلة للاتحاد ، فإذا اتحدت إحدى المجموعتين الطليقتين بحمض أمينى ثالث تكون « ثلاثى الببتيد » (Tripeptide) الذى يحتفظ هو الآخر بمجموعتين حرتين أمينية وكاربوكسيلية أى أن جزىء ثلاثى الببتيد ما زال يقبل الاتحاد بجزيئات أخرى من الأحماض الأمينية ، فإذا أضيف إليه حمض أمينى رابع تكون « رباعى الببتيد » (Tetrapeptide) ، ويستمر تكاثف جزيئات الأحماض الأمينية على هذا النمط حتى يتكون عديد الببتيد (Polypeptide) ، وقد تمكن فيشر من تحضير عديد ببتيد يحتوى على

١٨ وحدة من الأحماض الأمينية ، ووجد أن هذه المركبات المحضرة صناعياً تشبه البروتينات فى خواصها الفيزيائية والكيميائية .

وتحتوى أصغر الجزيئات البروتينية على عدة مئات من وحدات الأحماض الأمينية ، تمثل بعض أو كل الأحماض الأمينية المعروفة مكررة عدة مرات . والطريقة التى تنتظم بها وحدات الأحماض الأمينية فى جزىء البروتين ليست معروفة على وجه التحديد ، وإن كان المعتقد أن بروتينات البروتوبلازم بوجه عام تنتظم جزيئاتها فى سلاسل طويلة . إلا أنه فى معظم البروتينات لا تكون السلاسل الجزيئية مستقيمة بل تلتف وتنطوى كثيراً بحيث ينشأ جزىء البروتين متضاغطاً شديد التعقيد . وتعرف البروتينات فى هذه الحالة بالبروتينـــات الكروية ، وذلك لأن جزيئاتها تأخذ شكلا كروياً تقريباً .

ويختص كل نوع من النباتات أو الحيوانات بنوع خاص من البروتينات يميزها عن سائر الأنواع الأخرى ، وعلى ذلك فلا بد أن يوجد عدد كبير من البروتينات المختلفة . فإذا تبينا ما سبقت الإشارة إليه من اختلاف عدد الأحماض الأمينية فى جزىء البروتينات فإن التعدد العظيم فى أنواعها يصبح أمراً مفهوماً .

تثبيت النيتروجين

سبق أن ذكرنا أن النباتات الراقية — فيما عدا البقليات (القرنيات) وقلة من النباتات الأخرى — تحصل على النيتروجين اللازم لها من التربة فى صورة مركبات تحتوى على هذا العنصر وعلى ذلك فإن محتواها النيتروجينى يتناقص باستمرار ، إلا أن هذا النقص يكون دائماً أقل مما تكتسبه النباتات من نيتروجين التربة . ولما كانت الصخور التى تكونت منها التربة لا تحتوى على النيتروجين فإنه يصبح من الواضح أن هناك طريقة ما تتجدد بوساطتها المركبات النيتروجينية باستمرار . ويتم ذلك أساساً بتثبيت النيتروجين الجوى ، ويقوم بهذه العملية بعض كائنات التربة الدقيقة — وهى البكتيريا المثبتة للنيتروجين —

وقد وجد أن هناك مجموعتين من البكتيريا يثبتان كميات كبيرة نسبياً من النيتروجين الجوى فى صورة مركبات عضوية ، وهاتان المجموعتان هما :

(١) بكتيريا تكافلية (Symbiotic bacteria) وهى التى تعيش فى جذور النباتات القرنية وما إليها .

(٢) بكتيريا رمية (Saprophytic bacteria) وهى تتطلب مصدراً خارجياً للغذاء تحصل منه على الطاقة اللازمة لها حتى يمكنها القيام بعملية التثبيت.

وإلى جانب ذلك توجد أنواع من البكتيريا والفطريات والطحالب الخضراء المزرقة تستطيع تثبيت النيتروجين الجوى ، إلا أن ذلك لا يعد شيئاً مذكوراً بالقياس إلى ما تثبته كائنات التثبيت الحقيقية .

وقد ورد شرح هاتين المجموعتين فى باب سابق .

دورة النيتروجين

يوجد فى التربة بالإضافة إلى البكتيريا المثبتة للنيتروجين أنواع أخرى من البكتيريا تقوم بكثير من التحولات الخاصة بالمواد النيتروجينية ، وأهم هذه التحولات هى :

١ — النشدرة (Ammonification) : تكوين النوشادر من البقايا النباتية والحيوانية .

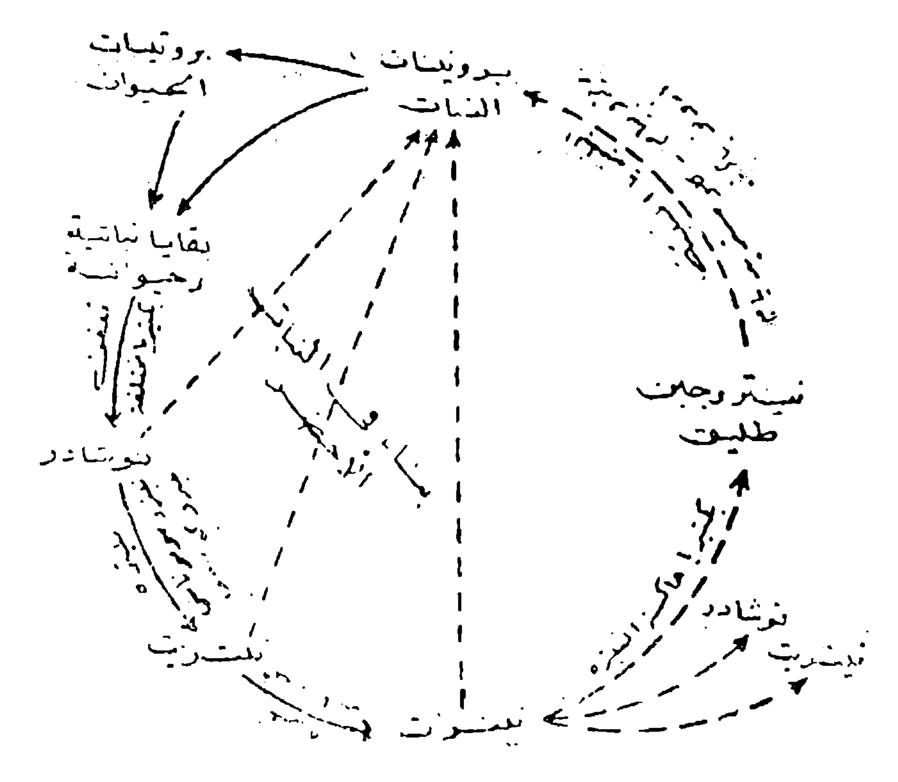
٢ — النيترة (Nitrification) أو تكوين النيترات من النوشادر .

٣ — انطلاق نيتروجينى (Denitrification) أو تحليل النيترات .

وقد سبق لنا أن شرحنا هذه التحولات بالتفصيل فى باب سابق .

على أنه يمكن تلخيص هذه التحولات المعقدة للصور المختلفة من المركبات النيتروجينية — عضوية كانت أو غير عضوية — فيما يعرف بدورة النيتروجين (Nitrogen cycle) فى الطبيعة (شكل ٣٧٤) .

(شكل ٣٧٤)



دورة النيتروجين فى الطبيعة

(ج) الأيض الدهنى

تكثر المواد الدهنية فى النباتات حتى لا تكاد تخلو منها خلية نباتية ، فهى علاوة على كونها مكونات أساسية للبروتوبلازم تعتبر من المواد الغذائية الرئيسية . والدهون الحقيقية التى تكون الغذاء المدخر فى أعضاء التخزين ليست إلا قسماً واحداً من مجموعة المواد الدهنية التى أصبحت تعرف بالليبيدات (Lipids) ، إذ تضم الأخيرة مواد أكثر تعقيداً ترتبط فيها المجموعات الدهنية بمجموعات أخرى تحتوى إلى جانب الكربون والأيدروجين والأكسيجين — التى تتكون منها الدهون الحقيقية — على عناصر أخرى ، وعلى الأخص النيتروجين والفوسفور .

ويمكن حسب التركيب الكيميائى للمواد الدهنية تمييز الأقسام الآتية :—

(١) الدهون الحقيقية (True fats) : وهى استرات الجليسرين

والأحماض الدهنية . وتنتمى إليها الدهون والزيوت . وهى مواد متشابهة كيميائياً ولا تختلف إلا فى الخواص الفيزيائية ، فالأولى صلبة فى درجة الحرارة العادية ، أما الثانية فسائلة ، وهذا القسم من المواد الدهنية هو الذى يكون مادة الادخار ، وهو الذى سنتناوله بالشرح فيما بعد .

(٢) الشموع (Waxes) : وهى استرات الأحماض الدهنية وكحولات غير الجليسرين .

(٣)الفوسفوليبيدات (Phospholipids) : وهى مواد دهنية معقدة التركيب تتحد فيها مجموعات الدهون بمجموعات أخرى تحتوى على النيتروجين والفوسفور. ومن أهم أمثلة هذه المواد الليسيثين (Lecithin) والسيفالين (Cephalin) .

الدهون

تكون الدهون مادة ادخار أساسية فى بذور كثير من النباتات ، إذ تترسب فيها أثناء نضجها ، ثم تعود فتستعمل كمصدر للطاقة فى الأدوار الأولى للإنبات. ويدخر الدهن إما فى الفلقات كما فى فول الصويا وعباد الشمس أو فى الإندوسبرم كما فى النخيليات . وفى الحبوب يقتصر وجود هذه المواد على الجنين ، أما الإندوسبرم فلا يحوى إلا قدراً ضئيلا منها أو لا يحوى شيئاً منها على الإطلاق .

وتوجد الدهون أيضاً فى الأوراق والسيقان والجذور والثمار والأزهار وحتى فى حبوب اللقاح . ويمكن القول عموماً إن الدهون توجد بتركيزات عالية فى البذور والأنسجة اللحمية للثمرة وبتركيزات منخفضة فى أعضاء النبات الخضرية ، وفى كثير من البذور يكون الدهن ٣٥ ــ ٥٠٪ من الوزن الجاف . ولهذا تستخرج الدهون والزيوت ــ التى تستخدم كغذاء للجنس البشرى من البذور كبذور السمسم والفول السودانى وفول الصويا والقطن ، كما تستخرج كذلك من الثمار كثمار الزيتون وجوز الهند وغيرهما .

والدهون مواد غير قابلة للذوبان فى الماء ، وعلى ذلك فهى توجد فى الخلايا النباتية على شكل قطرات أو حبيبات صغيرة منتشرة فى السيتوبلازم . وهذه القطرات أو الحبيبات من الكبر بحيث يمكن رؤيتها بالفحص المجهرى ، وخاصة إذا صبغت ببعض أنواع الأصباغ مثل سودان ٣ (Sudan III) .

أما من الوجهة الكيميائية فالدهن عبارة عن إستر (Ester) يتكون باتحاد جزىء من الجليسرين – وهو كحول يحتوى على ثلاث مجموعات إيدروكسيلية مع ثلاثة جزيئات من حمض دهنى ويخرج ثلاثة جزيئات من الماء . فإذا كان الحمض الدهنى هو حمض البالميتيك مثلاً فإن التفاعل تمثله المعادلة الآتية :

ك١٥ يد٣١ ك ا ا | يد يد ا | – ك يد٢ ك١٥ يد٣١ . ك ا ا . ك يد٢

الليبيز

ك١٥ يد٣١ ك ا ا | يد + يد ا | – ك يد ⇄ ك١٥ يد٣١ . ك ا ا . ك يد + ٣ يد٢ ا

ك١٥ يد٣١ ك ا ا | يد يد ا | – ك يد٢ ك١٥ يد٣١ . ك ا ا . ك يد٢

(ثلاثة جزيئات « الجليسرين » (دهن ثلاثى البالميتين)

من حمض البالميتيك)

وفى العادة لا تكون جزيئات الأحماض الدهنية المشتركة فى تكوين جزىء الدهن من نوع واحد – كما هو الحال فى البالميتين – بل تنتمى إلى نوعين أو ثلاثة أنواع مختلفة ، والأغلب أن يكون جزىء الجليسرين مرتبطاً فى جزىء الدهن بأحماض دهنية مختلفة . والدهون التى توجد فى الطبيعة ليست فى العادة إلا مخاليط لعدة أنواع من الدهون ذات التركيب الكيميائى المختلف ، والبالميتين هو أحد هذه الأنواع الشائعة . والأحماض الدهنية التى توجد فى الكائنات الحية تحتوى جزيئاتها على عدد زوجى من ذرات الكربون مرتبطة مع بعضها البعض فى سلاسل طويلة ، وتوجد المجموعة الحمضية على أحد جانبى السلسلة أما بقيتها فتتكون من عنصرى الكربون والإيدروجين فقط .

وتتميز الأحماض الدهنية إلى مجموعتين : مشبعة وغير مشبعة ، فالأحماض الدهنية المشبعة (Saturated) تكون جميع ذرات الكربون فيها - باستثناء مجموعة الكاربوكسيل الطرفية - مختزلة تماماً إلى الحد (ك يد٢) أو (ك يد٣) ، أى أنه لا توجد روابط مزدوجة فى جزيئات هذا النوع من الأحماض ، ومثلها أحماض اللوريك والمريستيك والباليتيك والاستياريك . أما مجموعة الأحماض الدهنية غير المشبعة فيوجد بين ذرات الكربون فى جزيئاتها رابطة مزدوجة أو أكثر (ك=ك) . ومن أمثلة هذه الأحماض الأوليبك واللينوليبك واللينولينيك .

والدهون النباتية إما سائلة أو صلبة فى درجة الحرارة العادية ، وتعرف السائلة عادة بالزيوت أما الصلبة فتعرف بالدهون الحقيقية . والعامل الرئيسى فى التركيب الكيميائى للدهن أو الزيت - الذى يحدد هذه الخاصة الفيزيائية - هى نسبة ما تحتويه من الأحماض الدهنية غير المشبعة . فالزيوت تحتوى على نسبة عالية من الأحماض غير المشبعة ، والعكس بالنسبة للدهون ، فزيت بذرة الكتان مثلا يحتوى على ٦٠ - ٧٥٪ أحماضاً غير مشبعة ، أما دهن بذرة الكاكاو الصلب - المعروف بزبدة الكاكاو - فيحتوى على أكثر من ٧٥٪ احماضاً مشبعة مثل الباليتيك والاستياريك .

ونظراً لأن الزيوت مواد غير مشبعة فإن لها خواصاً اتحادية (Additive properties) ، فهى تتحد مع الهالوجينات والأكسيجين والإيدروجين عند الروابط غير المشبعة فى جزيئاتها . وتتأكسد الزيوت بسهولة عند تعرضها للجو وتجف ، وكلما كانت درجة عدم تشبع الزيت كبيرة - كما هو الحال فى زيت بذرة الكتان وعباد الشمس - كان جفافها أسرع ، ولذلك فإن هذا النوع من الزيوت ذو قيمة خاصة فى صناعة الطلاء . أما الزيوت التى تستعمل غذاء - كزيت الزيتون وبذرة القطن وبذرة السمسم - فتحتوى على نسبة أقل من الأحماض الدهنية غير المشبعة ولذلك فهى أكثر ثبوتاً فى الهواء من تلك التى تجف . وعملية تحويل الزيوت النباتية السائلة إلى دهون

متصلبة — بإضافة الإيدروجين مباشرة إلى الروابط المزدوجة فى الأحماض الدهنية غير المشبعة — قد أصبحت من الوسائل الصناعية الهامة للحصول على الدهون المتصلبة والمارجرين من زيوت البذور كبذور القطن وفول الصويا والفول السودانى .

وتتفاعل الدهون مع القواعد غير العضوية ، فتنتج أملاح الأحماض الدهنية الداخلة فى تركيب جزىء الدهن والجليسرين كما يتضح من المعادلة الآتية :

ك١٥يد٣١ — ك ا ا — ك يد٢
|
ك١٥ايد٣١ — ك ا ا . ك يد + ٣ ص ا يد ← ٣ك١٥يد٣١ . ك ا ا ص + ك٣يد٥(ا يد)٣
|
ك١٥يد٣١ — ك ا ا — ك يد٢

(دهن البالميتين) (بالميتات الصوديوم) (جليسرين)

ويعرف هذا التفاعل « بالتصبن » ، (Saponification) وأما ملح الحمض الدهنى الناتج فعبارة عن الصابون ، ويكثر وجود مثل هذه المواد فى الخلايا النباتية ، وهى تكون مستحلبات مثالية ، ومن المحتمل أنها تؤدى هذا الدور فى البروتوبلازم .

وتتحلل الدهون فى وجود إنـزيم الليبيز (Lipase) إلى الجليسرين والأحماض الدهنية المكونة لها . ويستخدم فى التفاعل ثلاثة جزيئات من الماء لتفكيك الروابط الإستيرية الثلاث فى جزىء الدهن . كذلك يساعد الليبيز الاتجاه البنائى وخاصة فى وجود تركيزات عالية من الأحماض الدهنيـة والجليسرين . ويعتبر هذا الإنزيم مسئولا عن حركة الدهن بين الخلايا ، فهو يحلله أولا وبعد ذلك تتعرض الأحماض الدهنية الناتجة للتأكسد .

وإنزيم الليبيز واسع الانتشار فى النباتات ، ولكنه يكثر فى البذور النابتة التى تحتوى نسبة عالية من الدهون مثل بذور الخروع وفول الصويا وعباد الشمس والكتان والقنب والخردل .

الباب السابع والثلاثون

التغذية المعدنية

العناصر التى توجد فى النبات :

إذا جفف نسيج نباتى عند درجة ١٠٠°م فإن مايتبقى منه بعد تبخر الماء يمثل المادة الجافة لهذا النسيج . فإذا أحرقت تلك المادة الجافة عند درجة ٦٠٠° تحلل مافيها من مواد عضوية وخرجت نواتج التحلل فى صورة غازات . أما البقايا المتخلفة — والتى تعرف بالرماد (Ash) — فتحتوى على العناصر التى كان يمتصها النبات من التربة ، فى صورة أملاح أو أيوناتها ، وذلك باستثناء النيتروجين . ومن البديهى أن الصورة التى توجد عليها العناصر فى الرماد ليست هى التى توجد عليها فى النبات الحى ، فهى عادة تكون فى الرماد على هيئة أكاسيد . وتختلف كمية الرماد الناتجة عن احتراق الأعضاء والأنسجة النباتية المختلفة ، ففى الثمار الغضة والأنسجة الخشبية تكون نسبة الرمادالمتخلف أقل من ١٪ من وزنها الجاف وفى البذور والحبوب تصل هذه النسبة إلى ٣٪ أو ٤٪ ، أما الأوراق فتحتوى من ١٠ — ١٥٪ أو أكثر من وزنها الجاف رماداً .

ولقد أثبت التحليل الكيميائى أنه توجد فى رماد النباتات آثار على الأقل لعدد كبير من العناصر يربو على الأربعين ، وذلك بالإضافة إلى عناصر النيتروجين والكربون والأيدروجين والأكسيجين التى تتطاير على شكل غازات عندما تحرق النباتات للحصول على رمادها . ومن العناصر التى أمكن تميزها : الكالسيوم والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والماغنيسيوم والحديد والبورون والألومنيوم والنحاس والزنك والمنجنيز والكلور والكوبلت والنيكل والرصاص والمولبدينم والثاليوم والصوديوم والسليكون والسيزيوم.

ومن المحتمل إذا استحدثت طرق تحليلية دقيقة أن يكشف فى رماد النباتات عن كل ما هو ذائب فى محلول التربة . وذلك لأن إحدى الوسائل التى تدخل بها الأيونات والجزيئات فى النبات هى الانتشار البسيط .

والعناصر السابقة التى أمكن تمييزها فى النباتات ليست كلها ضرورية لنموها ، كما أن عدداً محدوداً منها يبلغ الخمسة عشر هو الذى يوجد بانتظام وبكميات ملموسة فى النباتات . وفى الحقيقة تتفاوت كمية العناصر المختلفة التى توجد فى النباتات المختلفة حتى ولو كان نموها فى نفس التربة .

ويؤثر التركيب والخواص الأخرى للتربة التى ينمو فيها النبات فى نسبة ما يمتص من كل عنصر من العناصر . فقد وجد أن نباتات من نفس النوع — تنمو فى أنواع مختلفة من التربة — تحتوى على مقادير متفاوتة من كل عنصر من العناصر المختلفة التى يمتصها النبات . كذلك تختلف نسبة العناصر فى أجزاء النبات المختلفة ، فأعلى نسبة للبوتاسيوم والكالسيوم توجد عادة فى الأوراق والسيقان الخضراء ، على حين تحتوى الجذور على أقل كمية منهما . كذلك يوجد الفوسفور والماغنيسيوم بكميات أكبر نسبياً فى البذور منها فى أى جزء آخر من أجزاء النبات البالغ .

وبالرغم من التفاوت الكبير فى قيمة كل عنصر ، فإنه يمكن القول بأن البوتاسيوم أعلى العناصر نسبة ، وإن كانت نسبة الكالسيوم فى بعض الأحيان تزيد عليها وقد ترتفع نسبة بعض العناصر الأخرى فى نباتات معينة ، فالصوديوم مثلا — الذى تتراوح نسبته فى رماد الأوراق من ١ إلى ٣٪ ، تصل نسبته فى النباتات الملحية إلى ٣٠ أو ٤٠٪ من الرماد ، وعنصر السليكون تختلف كميته فى النباتات أختلافاً كبيراً ، فبعضها يحتوى على آثار ضئيلة منه ، وبعضها الآخر قد يحتوى رماده على ٨٠٪ منه ، ومن النباتات المعروفة بمحتواها العالى من السليكات نبات ذيل الحصان (Equisetum) وبعض النجيليات .

العناصر الأساسية وغير الأساسية :

تقتصر حاجة النبات على عدد محدود من العناصر الكثيرة التى أمكن تمييزها فى الأنسجة النباتية . ويرجع الفضل فى تمييز العناصر الأساسية

(Essential elements) لغذاء النباتات إلى تجارب المزارع المائية التى قام بها كل من العالمين الألمانيين ساكس (Sachs) ونوب (Knop) قبل وبعد عام ١٨٦٠ . فقد دلت أبحاثهما التى أيدتها نتائج من تلاهما من الباحثين أنه بالإضافة إلى عناصر الكربون والإيدروجين والأكسيجين يحتاج النبات لكى ينمو إلى عدد من العناصر الأخرى هى : النيتروجين والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والحديد . وقد أعتبرت هذه العناصر العشرة أساسية لنمو النباتات ، أما بقية العناصر التى توجد فى النباتات فلم يظهر لها تأثير مباشر ، وعلى ذلك أعتبرت عناصر غير أساسية (Non - essential elements) .

ونظراً لحاجة النباتات إلى مقادير كبيرة نسبياً من العناصر العشرة التى حددها ساكس ونوب فيما عدا الحديد ، فقد أطلق على مجموعتها « العناصر الكبرى » (Major or Macro-elements) . غير أنه بعد ما أدخل من تحسينات على الطرق المستخدمة فى الدراسة ، قد أصبح من المحقق أن العناصر السابقة لاتكفي وحدها لنمو النباتات نمواً حسناً ، بل إن آثاراً ضئيلة من خمسة عناصر أخرى يجب أن تضاف إلى محاليل التغذية حتى يكون النمو طبيعياً ، وهذه العناصر هى البورون والمنجنيز والنحاس والزنك والمولبدينم ، وإن كان هناك من الأدلة مايؤيد أن بعض النباتات على الأقل تحتاج إلى السليكون والألومنيوم والكلور فى محاليل تغذيتها . ونظراً لحاجة النباتات إلى مقادير ضئيلة جداً من هذه العناصر (فى كثير من الأحيان أقل من ١ . ملليجرام فى اللتر من المحلول) فقد أطلق عليها « العناصر الصغرى » (Trace or Micro-elements) ، ويشغل الحديد مركزاً وسطاً بين هاتين المجموعتين ، فهو وإن كان يستخدم بكميات أقل كثيراً من البوتاسيوم والكالسيوم والماغنيسيوم والفوسفور والكبريت إلا أن هذه الكميات تفوق ما يحتاج إليه من المنجنيز وبقية العناصر الصغرى .

أصبحت قائمة العناصر الأساسية تضم إذن خمسة عشر عنصراً من بين

العناصر التى أمكن تميزها فى رماد الأنسجة النباتية . ومن الممكن أن يؤدى تقدم البحث العلمى إلى زيادة هذه القائمة بإضافة عناصر أخرى لم تثبت للآن ضرورتها ، لأن النبات يحتاج إليها بكميات ضئيلة جداً ، وستكون هذه الإضافة بالطبع إلى مجموعة العناصر الصغرى .

المزارع المائية والرملية :

سبق أن ذكرنا أن الفضل فى الاستدلال على العناصر الأساسية لحيـاة النبات يرجع إلى استعمال المزارع المـائية ، كتلك التى استعملهـا ساكس (شكل ٣٧٥) ، وقد استمر حتى الان استعمال هـذا النوع من المزارع ، كما استخدمت المزارع الرملية لدراسة كل ما يتعلق بالتغذية النباتية . والفرق بين هذين النوعين من المزارع الصناعية أن جذور النبات تنمو فى وسط مائى فى الأولى ، أما فى الثانية فتنمو فى الرمل ، وفى كلتا الحالتين تزود المزرعة بمحاليل التغذية . ومنذ عهد ساكس ونوب اقترح كثير من الباحثين أنواعاً مختلفة من محاليل التغـذية ، أثبتت التجارب صلاحية معظمها بالرغم من اختلافها فى نوع وتركيز الأملاح المستعملة . وليس من الممكن تفضيل أحد هذه المحاليل بالنسبة لنبات ما أو لكل النباتات فى جميع الظروف ، وذلك لأن تركيب أى محلول منها لا يظل ثابتاً لمدة طويلة من اتصاله بجذور النبات بل يتغير التركيب بدرجة ملموسة نظراً لامتصاص الأيونات المكونة للمحلول بدرجة متفاوتة . ويوضح الجدول (٢٦) تركيب ثلاثة من محاليل التغذية الأكثر شيوعاً وذلك فيما يختص بالعناصر الكبرى والحديد . أما

(شكل ٣٧٥)

طريقة ساكس فى تنمية النبات فى محلول غذائى (المزرعة المائية)

العناصر الصغرى فتضاف فى صورة محلول إضافى تركيبه كما يلى : ٠,٦جم من حمض البوريك ، ٠,٤جم من كلوريد المنجنيز المائى ، ٠,٠٥ جم من كبريتات الزنك ، ٠,٠٥ جم من كبريتات النحاس المائى ، ٠,٠٢ جم من حمض المولبديك ، وتذاب هذه جميعها فى لتر من الماء يضاف منه ١سم٣ لكل لتر من محلول التغذية .

جدول (٢٦)

المكونات الكيميائية لثلاث من محاليل التغذية

محلول شيف (Shive's solution)		محلول هوجلاند (Hoagland Solution)		محلول هوجلاند ٢ (HoaglandSolution 2)	
الملح	جم/اللتر	الملح	جم/اللتر	الملح	جم/اللتر
كا(ن ا٣)٢، ٤ يد٢ ا	١,٠٦	كا(ن ا٣)٢، ٤ يد٢ ا	١,١٨	كا(ن ا٣)٢، ٤ يد٢ ا	٠,٩٥١
بو يد٢ فو ا٤	٠,٣١	بو ن ا٣	٠,٥١	بو ن ا٣	٠,٦١
ما كب ا٤، ٧ يد٢ ا	٠,٥٥١	بو يد٢ فو ا٤	٠,١٤	ما كب ا٤، ٧ يد٢ ا	٠,٤٩١
(ن يد٤)٢ كب ا٤	٠,٠٩	ما كب ا٤، ٧ يد٢ ا	٠,٤٩	(ن يد٤) يد٢ فو ا٤	٠,١٢
ح كب ا٤، ٧ يد٢ ا	٠,٠٠٥	طرطرات الحديد	٠,٠٠٥	طرطرات الحديد	٠,٠٠٥

ويعتمد استعمال المزارع المائية أو الرملية على نوع الدراسة المرغوبة . فالمزارع المائية تستخدم عادة لدراسة التأثيرات الخاصة بالعناصر المختلفة والأعراض التى تنجم عن نقصها ، ولهذا الغرض يقارن نمو نبات ما فى محلول غذائى كامل ونبات آخر من نفس النوع فى محلول به جميع العناصر ماعدا العنصر المراد اختباره . ويراعى عند تحضير المحاليل استعمال كيماويات نقية وماء أعيد تقطيره بأجهزة خاصة حتى يكون خالياً من الشوائب المعدنية . وتوضع محاليل التغذية فى أوعية مناسبة نظيفة مصنوعة من نوع خاص من الزجاج (Pyrex glass) أو البوروسليكات أو الخزف المصقول حتى لاتكون مصدراً لاى عنصر إضافى فى المحلول . ومن الممكن أن تستعمل أنواع من الأوعية أقل جودة من الأولى على أن تغطى جدرانها الداخلية بطبقة من الشمع تحول

دون تسرب بعض مواد الجدار إلى المحلول ، ومن الأنسب أن تغطى جدران الأوعية الزجاجية بورق أسود لكى يحمى الجذور من تأثير الضوء من ناحية ويمنع نمو الطحالب من ناحية أخرى ، وتثبت بعد ذلك بادرات النبات فى الأغطية المثقبة لفوهات الأوعية بحيث يتدلى الجذير فى المحلول . وتصنع الأغطية عادة من المعدن أو الفلين أو الورق المغطى بالشمع حتى تكون بمثابة دعامة للبادرات .

وينبغى للحصول على نتائج طيبة أن يراعى تهوية محلول التغذية ، وذلك بدفع تيار من الهواء يمر داخل المحلول على شكل فقاعات صغيرة تحصل منها الجذور على الأكسيجين اللازم لتنفسها . ولما كان امتصاص النبات للأيونات المختلفة لايتم بسرعة واحدة ، كما أن سرعة امتصاصه للماء لاتتناسب مع سرعة امتصاصه للأيونات ، فإنه سرعان ما يتغير تركيب محلول التغذية ورقمه الإيدروجينى . فأيون البوتاسيوم مثلا يمتص عادة من محلول يحتوى على كبريتات البوتاسيوم بدرجة أسرع من امتصاص أيون الكبريتات ، وهذا يؤدى إلى ازدياد حموضة المحلول . مثل تلك التغييرات غير المرغوب فيها يمكن التغلب عليها باستعمال أحجام كبيرة من محاليل التغذية لاتؤثر فيها هـــذه التغيرات أو بتجديد المحاليل من حين لآخر .

أما المزارع الرملية فتفضل المزارع المائية فى بعض الدراسات ، كما أنها أسهل تداولا وأقل تعقيداً ، وفيها ينمو النبات فى رمل نظيف عومل معاملة خاصة لإزالة ما به من شوائب . ويشترط فى الرمل أن يكون على درجة مناسبة من النعومة تسمح بالتهوية الجيدة ، وفى الوقت نفسه تمكنه من الاحتفاظ بقدر كاف من الماء، وبعد وضع البذور فى الرمل تزود المزارع الرملية بمحاليل التغذية بالطرق المعتادة .

وأهم ماتمتاز به المزرعة الرملية على المزرعة المائية أن الجذور فى الأولى تنمو فى بيئة أقرب إلى التربة وعلى الأخص بالنسبة للتهوية . غير أن المزرعة الرملية لاتصلح لدراسة أهمية العناصر الصغرى ، وذلك لأن معظم أنواع الرمل

- مهما كانت درجة نظافتها - تحوى آثاراً لعدد غير قليل من العناصر الصغرى يستطيع النبات الحصول على ما يكفيه منها ، ولذلك تفضل المزارع المائية في هذا النوع من الدراسة .

دور العناصر الأساسية فى تغذية النبات :

سبق أن ذكرنا أن العناصر التى يمتصها النبات ليست كلها ضرورية لحياته ، كذلك لايلزم أن يستعمل النبات كل ما يمتصه من العناصر الأساسية فقد يبقى بعضها فى صورة أيونات حرة . وتؤدى العناصر المختلفة بوجه عام كثيراً من الوظائف الهامة للنبات ، فقد تدخل مباشرة فى تركيب مادة الجدار الخلوى والبروتوبلازم ، وقد تتراكم فى الفجوة العصارية مساهمة بذلك فى رفع الضغط الأزموزى للخلية ، كما أن بعض العناصر تقوم بدور مساعد فى عدد من التفاعلات الكيميائية التى تحدث في الخلية ، فالحديد والنحاس مثلا يكونان المراكز الفعالة لعدد من الإنزيمات ، كما أن بعض العناصر الأخرى تعمل كمنشطات أو مثبطات لتفاعل أو أكثر من التفاعلات الإنزيمية . وقد أجريت فى الخمسين سنة الأخيرة أبحاث كثيرة على تأثير التركيزات المطلقة والنسبية للعناصر الكبرى فى نمو النباتات وكمية محصولها اتضح منها أن هناك تداخلا لاشك فيه يحدث بين مختلف العناصر ، إلا أن نوع هذا التداخل وطبيعته لم يتعديا بعد مرحلة التكهن . فمثلا قد يتطلب استعمال عنصر من العناصر الأساسية وجود عنصر آخر منها أو أكثر . وعلى ذلك فإن نقص عنصر ما قد يؤدى إلى تراكم عناصر أخرى فى صورة فعالة ، وقد يكون هذا التراكم كبيراً بحيث يصل تركيز العنصر إلى درجة سامة ، ومن ثم تظهر له أعراض مرضية. يتضح من ذلك أن الأعراض الناجمة عن نقص عنصر ما قد لاتكون من تأثيره المباشر ، بل تكون ثانوية مبعثها تراكم عناصر أخرى بتركيزات سامة .

وباستثناء الكربون والأيدروجين والأكسيجين ، التى لايكاد يخلو منها مركب من المركبات العضوية فى النبات والتى تكون نسبة عالية من وزنه

الجاف تصل إلى ٩٠٪ أو أكثر أو أقل على حسب نوع النبات ، فإننا سنتناول بالدراسة الدور الخاص بكل عنصر من العناصر الأساسية الأخرى .

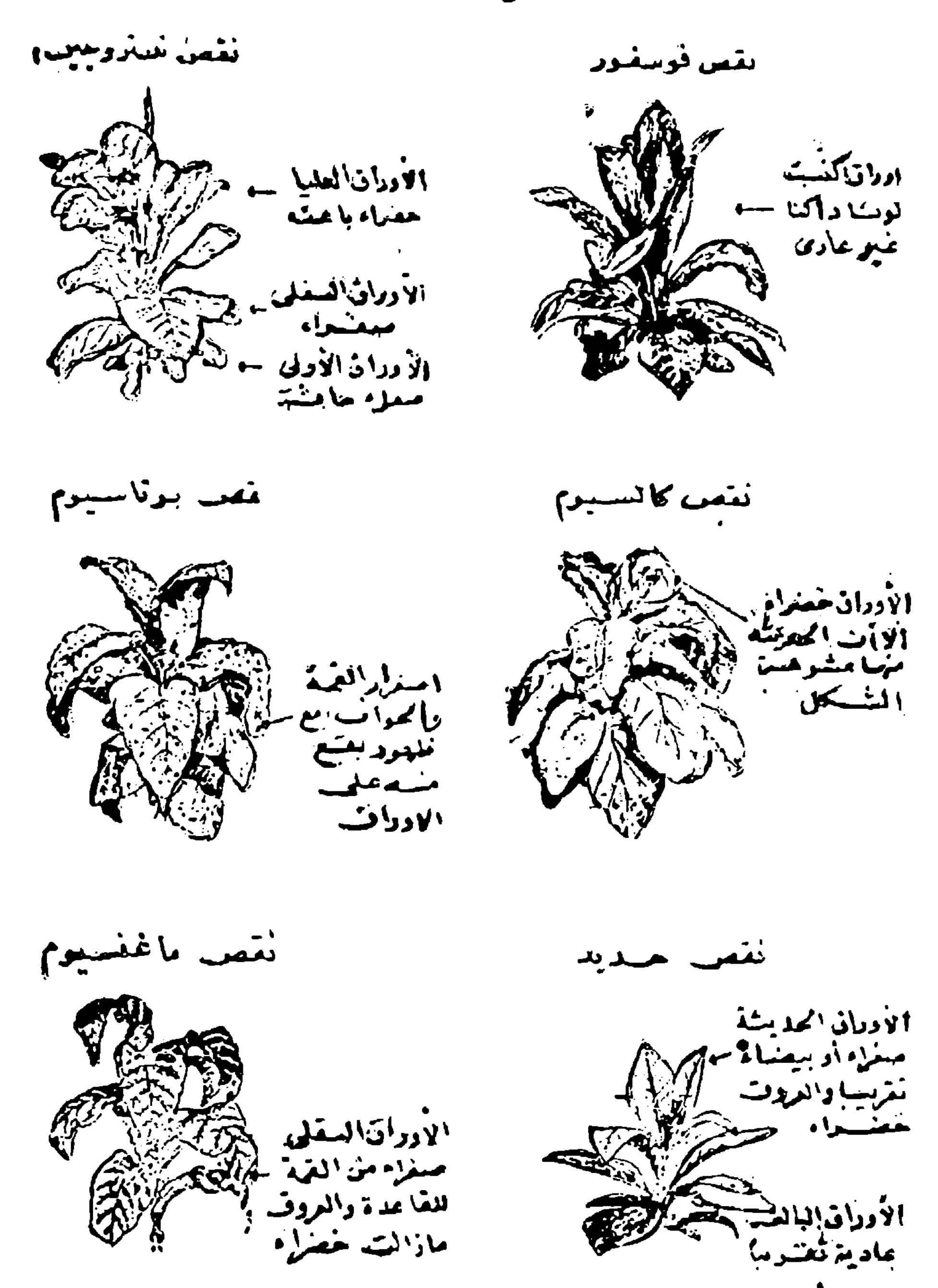
النيتروجين : يدخل هذا العنصر فى تركيب الأحماض الأمينية والأميدات والبروتينات ، وهى أهم مكونات المادة البروتوبلازمية ويستمد النبات مايلزمه من هذا العنصر من التربة فى صورة أيونات نيترات أو نوشادر ، وللقرنيات القدرة على الاستفادة من النيتروجين الجوى بوساطة البكتيريا العقدية التى تعيش فى جذورها .

والأعراض التى تنشأ عن نقص النيتروجين هى فى العادة ضعف اللون الأخضر فى الأوراق واصفرارها ثم سقوطها مبكرة إذا اشتد نقص هذا العنصر ويبدأ ظهور الأعراض على الأوراق السفلى للنبات « شكل ٣٧٦ » ، إذ أن عنصر النيتروجين ينتقل إلى مناطق النمو فتحرم منه الأوراق السفلى التى تبدأ فى الاصفرار ، وتعزى ظاهرة اصفرار الأوراق فى هذه الحالة إلى أن النيتروجين هو أحد مكونات جزىء المادة الخضراء .

والنباتات التى تنمو فى بيئة غنية جداً بهذا العنصر تكون أوراقها خضراء داكنة وتتميز بوفرة نموها الخضرى . والنيتروجين يميل – أكثر من أى عنصر آخر – إلى أن يكون عاملا محدداً فى التربة ، ولذلك فهو – بالإضافة إلى الفوسفور – غالباً ما يضاف إلى التربة فى صورة مخصبات .

الفوسفور : تمتص النباتات الفوسفور على هيئة أيونات فوسفات (يد٢ فو أ٤$^{-}$) ، (يد فو أ٤$^{--}$) ، ويدخل هذا العنصر فى تركيب الليبيدات (الدهون المفسفرة) مثل الليسيثين (Lecithin) ، وهو دهن حل فيه حمض الفوسفوريك محل أصل حمض دهنى واحد ، وهذا المركب وغيره يدخل فى تركيب البروتوبلازم . كذلك يدخل الفوسفور فى تركيب البروتينات النووية الخاصة بالنواة ، ولذلك فهو يكثر فى المناطق المرستيمية حيث يستنفد بكميات كبيرة فى تكوين مثل هذه المركبات .

(شكل ٣٧٦)



أعراض نقص بعض العناصر فى نبات التبغ (بونر وجالستون ١٩٥٢)

ودور المركبات الفوسفورية — فى تحولات المواد الكربوإيدراتية والتنفس وحمل الطاقة — يعتبر من الوظائف الرئيسية للفوسفور فى النبات ، كذلك أيدت أبحاث بعض العلماء أهمية الفوسفور فى العمليات المؤدية إلى بناء البروتينات ، فقد وجد أن النباتات التى تعانى من نقص هذا العنصر تحتوى

على نسبة عالية من المركبات النيتروجينية الذائبة — كالأميدات والأحماض الأمينية والنوشادر بينما تقل نسبة البروتينات فيها عن المعتاد، ويصحب النقص فى معدل البناء البروتينى عادة تراكم المواد السكرية فى الأجزاء الخضراء للنبات .

وتتلخص أعراض نقص الفوسفور فى النباتات فى ضآلة نمو النبات ، واللون الأخضر الداكن الذى تتميز به الأوراق ، وفى بعض الأحيان ظهور اللون الأرجوانى أو الأحمر نتيجة تكون صبغ الأنثوسيانين فى الأوراق ، وقد يصحب هذه الأعراض تكون مساحات من الأنسجة الميته على الأوراق أو الأعناق أو الثمار غالباً ما تؤدى إلى تساقط الأوراق .

وعندما يكون تركيز الفوسفور الميسور حول الجذور ضئيلا فإن المركبات النيتروجينية غير العضوية تمتص بسرعة وتتراكم فى الأنسجة النباتية ، وعلى العكس يقل إمتصاص المركبات الأخيرة عندما يكون تركيز الفوسفور الميسور فى التربة عالياً . وعلى ذلك فإن استعمال المخصبات الفوسفاتية قد يغير ميزان النيتروجين فى النبات ، ومن الشواهد المؤيدة لذلك النضج المبكر الذى يحدث عادة عندما يكون تركيز الفوسفور الميسور عالياً. وتأخر النضج الذى يصاحب نقص هذا العنصر .

وعنصر الفوسفور له القدرة على الانتقال السريع من عضو إلى آخر ، ويتم هذا الانتقال أساساً فى صورة فوسفات ، وقد وجد ماك جلفراى أنه عند نقص الفوسفور فى النبات والوسط الخارجى ينتقل الجزء الأكبر من هذا العنصر من الأوراق كاملة التكوين إلى الأنسجة النامية . وعند تكوين الثمار والبذور ينتقل الفوسفور إليها بكميات كبيرة ، ولذلك فإن الجزء الأكبر من هذا العنصر فى النبات البالغ يوجد فى البذور والثمار .

الكبريت : يمتص النبات عنصر الكبريت من التربة على هيئة أيون الكبريتات (كب أ$_{٤}^{=}$) . وهذه الأيونات يبقى بعضها فى الخلايا كما هو ، أما الباقى فيتحول من هذه الصورة المؤكسدة إلى صورة مختزلة (— كب يد) حيث يدخل فى تركيب كثير من المركبات داخل النبات ، منها البروتينات التى

تحتوى على الحمض الأمينى سيستاين (Cystine) . وبعض الفيتامينات النباتية كالثيامين والبيوتين . كذلك يدخل الكبريت فى تركيب جليكوسيدات زيت الجردل ، مثل السينيجرين (Sinigrin) الذى يسبب الرائحة المميزة لبعض النباتات كالجردل والبصل والثوم وغيرها .

وأعراض نقص الكبريت فى النباتات تشبه إلى حد كبير تلك التى تنشأ عن نقص النيتروجين ، ويرجع ذلك لأهمية هذا العنصر فى تكوين البروتينات والكلوروفيل .

البوتاسيوم : هذا العنصر — على عكس غيره من العناصر الكبرى — لم يعرف بصفة قاطعة أنه يدخل فى تكوين المركبات العضوية اللازمة لحياة النبات ، وبرغم ذلك فهو عنصر لا يمكن الاستغناء عنه ، كما لا يمكن أن تستبدل به كلية عناصر أخرى تشبهه كيميائياً كالصوديوم والليثيوم . ويكثر البوتاسيوم فى مناطق النمو فى النباتات ، وخاصة فى البراعم والأوراق حديثة التكوين وفى قمم الجذور ، أما الأنسجة البالغة والبذور فتحتوى على نسبة ضئيلة منه .

والدور الخاص بالبوتاسيوم فى النبات غير واضح ، إلا أن الدراسات الكثيرة التى أجريت على النباتات المختلفة قد أدت إلى معرفة كثير مما يحدث عند نقص هذا العنصر . فالأوراق غالباً ما تصاب بنوع من التلف عند غيابه ، فتظهر عليها عند القمة والحوافى بقع صفراء لا تلبث أن تتحول إلى مساحات من الأنسجة الميتة بنية اللون ، ولذلك تبدو حوافى الأوراق وكأنها محترقة . كذلك تبين أن النباتات التى تعانى نقصاً فى البوتاسيوم تحتوى عادة على نسبة عالية من مركبات النيتروجين العضوية الذائبة — كالأحماض الأمينية والأميدات ولكنها فى الوقت نفسه تحتوى على نسبة منخفضة من البروتينات . من ذلك يتضح أن البوتاسيوم يؤثر بطريقة ما فى بناء البروتينات من الأحماض الأمينية ، وهى حقيقة تتفق مع ما لوحظ من توفر هذا العنصر فى المناطق النامية حيث يكون البناء البروتينى نشيطاً .

وعنصر البوتاسيوم سريع الانتقال فى النبات ، فهو ينتقل من الأوراق والأعضاء كاملة التكوين إلى مناطق النمو ، وهذه الأنسجة الناشطة لها القدرة على تراكم البوتاسيوم بدرجة كبيرة . ولهذا السبب تظهر أعراض نقص هذا العنصر فى الأوراق السفلى أولا ثم تنتشر تدريجياً إلى الأوراق العليا .

ويوجد البوتاسيوم فى النبات فى صورة ذائبة غير عضوية غالباً ، وقد توجد منه أملاح لبعض الأحماض العضوية ، وفى بعض النباتات يوجد هذا العنصر فى العصير الخلوى بتركيزات كبيرة فى صورة أملاح بسيطة تلعب دوراً هاماً فى المحافظة على امتلاء الخلايا .

الكالسيوم : يوجد الجزء الأكبر من هذا العنصر فى معظم النباتات فى الأوراق وهو – على النقيض من الفوسفور والبوتاسيوم – يكثر فى الأوراق المسنة عنه فى الأوراق حديثة التكوين .

والكالسيوم من العناصر الأساسية التى تدخل فى بناء هيكل النبات . فهو يتحد مع حمض البكتيك مكوناً بكتات الكالسيوم التى تدخل فى تكوين الصفيحة الوسطى ، وإذا انخفضت نسبة الكالسيوم فى النبات عن حد معين لا تتكون جدر خلوية جديدة ، وذلك بالرغم من احتمال حدوث خطوات من الانقسام الخلوى كانقسام النواة .

ولأيونات هذا العنصر تأثير واضح فى نفاذ الأغشية البلازمية ، وفى إبطال التأثير السام لأيونات العناصر الأخرى بعملية التضاد . ويبدو أن للكالسيوم دوراً فى اختزال النيترات فى الأنسجة النباتية ، فقد وجد أن بعض النباتات لا تستطيع – فى غياب الكالسيوم – امتصاص النيترات وتمثيلها .

والكالسيوم عنصر غير قابل للحركة تقريباً ، أى لا ينتقل بين أنسجة النبات فى حالة نقصه ، وهذا يفسر بدء ظهور الأعراض الدالة على نقص الكالسيوم فى الأعضاء حديثة التكوين . وتبدأ هذه الأعراض على الأوراق الحديثة فى القمة النامية ، فتبدو مشوهة غير منتظمة الحوافى ، وفى نفس الوقت

يقف نمو القمم النامية فى الساق والجذر وتبدو عليها مظاهر الانقراض . ونظراً لدور الكالسيوم فى امتصاص العناصر الأخرى من التربة أو محاليل التغذية ، فإن أعراض نقصه غالباً ما تكون معقدة ، فمثلا قد يؤدى نقص الكالسيوم إلى امتصاص الماغنيسيوم وتراكمه بدرجة سامة ، وعلى ذلك فالأعراض التى تظهر على النباتات فى هذه الحالة تكون من التأثير السام للماغنيسيوم ، وليست من نقص الكالسيوم .

الماغنيسيوم : يدخل هذا العنصر فى تركيب جزئ الكلوروفيل ، وعلى ذلك فدوره فى النباتات الخضراء واضح . ومن المحتمل أن يكون لهذا العنصر وظائف أخرى أساسية فى حياة النباتات ، إذ أنه ضرورى للنباتات غير الخضراء والخضراء على السواء ، فالمعتقد أن لهذا العنصر علاقة باستعمال الفوسفور فى النبات ، ويستند هذا الاعتقاد إلى أن الأنسجة التى تحتوى على كمية كبيرة من الماغنيسيوم تحتوى فى نفس الوقت على كمية كبيرة من الفوسفور وذلك كما فى البذور وقمم السوق والجذور .

ويسبب نقص هذا العنصر اصفرار الأوراق ، وتلك ظاهرة تعرف بالشحوب اليخضورى (Chlorosis) ، وتبدأ هذه الأعراض من قاعدة النبات ثم تتدرج إلى أعلى ، ويصاحب ظاهرة الاصفرار عادة موت أجزاء من الورقة أو الورقة كلها .

ويحتاج النبات إلى قدر ضئيل من هذا العنصر ، وقد تسبب زيادة تركيزه فى محاليل التغذية ظهور أعراض مرضية تنتهى بموت الخلايا ، وخاصة فى الجذيرات الصغيرة ، ويمكن التغلب على هذا التأثير السام بإضافة قدر كاف من الكالسيوم .

الحديد : يعتبر الحديد أساسياً فى تكوين الكلوروفيل فى النباتات الخضراء هذا على الرغم من أنه لا يدخل فى تركيب جزئ هذه المادة . ويسبب نقص هذا العنصر اصفرار الأوراق حديثة التكوين وعلى الأخص فى المناطق التى بين العروق ، وعندما تشتد الحالة تصبح الأوراق بيضاء عاجية فيما عدا العروق التى تظل داكنة اللون أو خضراء تقريباً . وللحالة التى يوجد عليها الحديد فى

النبات تأثير فى بناء الكلوروفيل ، فقد تصاب الأوراق بمرض الاصفرار بالرغم من احتوائها على كمية من الحديد تماثل ما يوجد منه فى الأوراق الخضراء. وتفسير ذلك أن الحديد فى مثل هذه الأوراق الصفراء يكون فى صورة غير صالحة للاستعمال ، فالحديد لا يكون نشطا فعالا إلا وهو على هيئة « حديدوز » هذا بالرغم من أن امتصاصه يتم عادة وهو على هيئة « حديديك » ، إلا أنه يختزل بسرعة فى الخلايا . والسرعة التى يختزل بها الحديد فى الخلايا الحية تتأثر على ما يبدو بكمية المنجنيز كما سيأتى فيما بعد .

ونظراً لحاجة النباتات إلى الحديد بكمية ضئيلة جداً (أقل من ملليجرام واحد لكل لتر من محلول التغذية) فإن المعتقد أنه يقوم بدور العامل المساعد لعدد من التفاعلات فى النبات ، ومن بين هذه التفاعلات تلك التى تؤدى إلى تكوين الكلوروفيل ، كذلك يقوم الحديد بدور هام فى عملية التنفس الهوائى ، فهو يدخل فى تركيب بعض الإنزيمات والحوامل التى تعمل فى عملية التنفس ، ومن أمثلتها الكاتاليز والبيروكسيديز وأكسيديز السيتوكروم والسيتوكروم .

والحديد أقل العناصر حركة فى النبات فهو — على عكس الفوسفور والنيتروجين والماغنيسيوم والبوتاسيوم — لا ينتقل من الأنسجة المسنة إلى الأنسجة الحديثة ، ولذلك إذا نقل النبات المزود بالحديد إلى مزرعة خالية من هذا العنصر ظهرت أعراض نقصه على الأوراق حديثة النشأة .

المنجنيز : يحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من المنجنيز ، وتعتبر أملاحه سامة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات مخففة . ويكثر هذا العنصر فى الأجزاء ذات النشاط الفسيولوجى وخاصة الأوراق . وهو عنصر غير متحرك لا يكاد ينتقل من مكان إلى آخر فى النبات .

ودور المنجنيز فى النبات هو دور العامل المساعد . والمعتقد أنه يشترك بطريقة ما فى عمليات التأكسد والاختزال . وخاصة ما كان منها مرتبطاً بمركبات الحديد . ويبدو أن المنجنيز يؤكسد أيون الحديدوز المتحرك (الذائب) إلى أيون الحديديك غير الذائب ، وعلى ذلك فعند نقص المنجنيز فى النبات يتراكم أيون الحديدوز إلى الدرجة التى يصبح فيها ساماً ، وعندئذ تختل عملية تمثيل

الحديد ويصفر النبات . وعلى العكس عندما تزيد كمية المنجنيز فإن كمية الحديد النشط تتضاءل وتظهر أعراض نقص الحديد . وعلى ذلك فتعتبر وظيفة المنجنيز فى النبات هى تنظيم تركيز الحديد النشط .

ويسبب نقص هذا العنصر ظهور أعراض مرضية واضحة ، أهمها وأكثرها شيوعاً اصفرار الأوراق ، وعلى الأخص أجزاء النصل التى بين العروق . ومن الأعراض الأخرى مرض التبقع الرمادى (Grey speck) فى الشوفان وغيره من نباتات الحبوب ، ويتميز بوجود بقع رمادية بين العروق فى الأوراق ، ومرض الاصفرار الأرقط (Speckled yellows) فى بنجر السكر .

البورون : يحتاج النبات إلى قدر ضئيل جداً من البورون ، وذلك لكى ينمو نمواً حسنا ، ولا يزيد ما يضاف من البورون إلى محاليل التغذية على جزء واحد فى المليون (*) أو أقل إلا فى القليل النادر ، ويتوقف ذلك على نوع النبات ، فنباتات الطماطم والجزر مثلا تحتاج إلى أقل من جزء واحد فى المليون لكى تنمو نمواً حسنا ، أما نبات بنجر السكر فلا يصل نموه إلى الدرجة القصوى إلا إذا بلغ تركيز البورون من ١٠ إلى ١٥ جزءاً فى المليون .

ويبدو أن دور البورون مرتبط بامتصاص واستعمال الكالسيوم . فالمعتقد أنه يحفظ الكالسيوم على صورة ذائبة ، ومن ثم يزيد من حركته فى النبات ومصداق ذلك ما وجد من أن نقص البورون يصاحبه انخفاض كمية الكالسيوم الذائبة ، والعكس بالعكس ، كذلك يدل تراكم المواد الكربوإيدراتية ومركبات النوشادر وغيرها من المركبات النيتروجينية الذائبة فى النباتات — التى تعانى نقصا فى البورون — على أن نقص هذا العنصر يؤدى إلى انخفاض معدل البناء البروتينى .

ويسبب نقص هذا العنصر عادة انحلال الأنسجة ثم انقراضها ، وخاصة تلك التى تتكون من خلايا رقيقة الجدر كاللحاء ومناطق النمو فى الجذر والساق ،

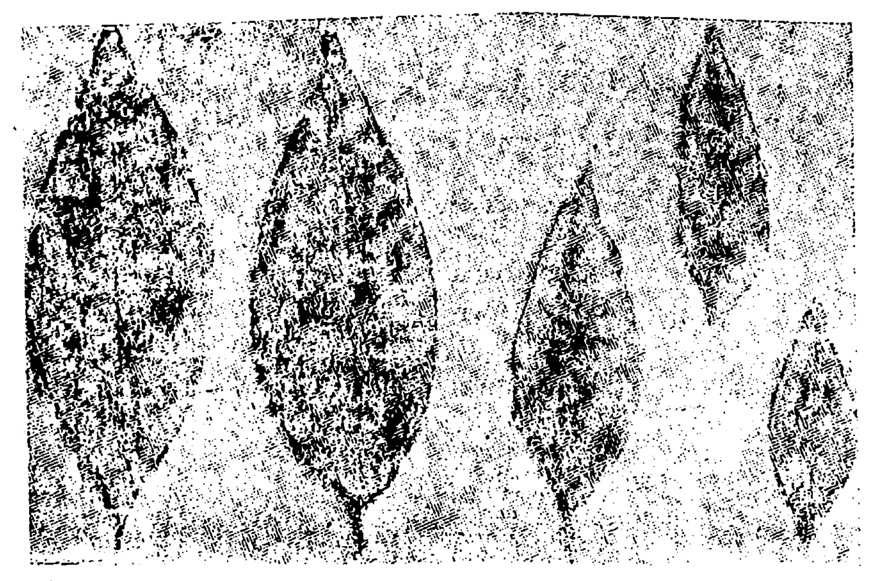
(*) يدل هذا التعبير على التركيز النسبى للعنصر ، فمثلا اذا اذيب ١ ملليجرام من البورون فى لتر من المحلول فان تركيزه النسبى يكون ١ جزء فى المليون ، وذلك لأن اللتر من الماء يعادل ١٠٠٠ جم ، ويحتوى الجرام على ١٠٠٠ ملليجرام ، أى أن هذا الجزء الواحد من البورون يوجد فى مليون (١٠٠٠ × ١٠٠٠) جزء من المحلول .

وعلى ذلك يقف نمو النبات ولا تتكون أوراق ولا براعم جديدة ؛ ولهذا السبب كانت أعراض نقص البورون فى نبات التبغ تعرف قبل اكتشافها « بمرض القمة » (Top sickness) . وفى الأعضاء اللحمية يسبب نقص البورون انحلال الأنسجة الداخلية وتحولها إلى اللون البنى كما فى بنجر السكر واللفت والتفاح .

وزيادة البورون لها تأثير سام على النباتات . وكثيراً ما يشاهد هذا التأثير السام فى نباتات الحقل ، وينتج عن ماء الرى عندما يحتوى مركبات هذا العنصر فى صورة ذائبة . وقد لاحظ تشابمان (Chapman) وزملاؤه — عام ١٩٥٦ — أن زيادة البورون فى ماء الرى عن جزء واحد فى المليون له تأثير سام على أشجار الموالح .

الزنك : لهذا العنصر تأثير سام على النبات إلا إذا استعمل بتركيزات مخففة جداً ، وتكفى منه آثار ضئيلة لكى ينمو النبات نمواً حسناً . ويسبب نقص هذا العنصر عادة اصفرار المناطق التى بين العروق فى الأوراق فتبدو متبقعة ، ولذلك يعرف المرض بالورقة المتبقعة « Mottle leaf »(شكل ٣٧٧) ؛

(شكل ٣٧٧)



أعراض نقص الزنك فى الموالح ، الورقة المتبقعة الى اليسار والورقة الصغيرة الى اليمين

وهو شائع فى الموالح ؛ وقد يتبع ذلك عجز البرعم الطرفى عن النمو الطبيعى ؛ وعندما تظهر أوراق جديدة تكون صغيرة ومشوهة . وينشأ عن عجز البرعم الطرفى عن النمو قصر السلاميات التى تفصل بين البراعم الجانبية ، بحيث تبدو الأخيرة متجمعة عند القمة ، ولذلك تعرف هذه الظاهرة المرضية « بالتورد » (Rosetting) أو الورقة الصغيرة (Little leaf) ، وهى كثيراً ما تشاهد فى الأشجار وخاصة أشجار الفاكهة كالتفاح والموالح ، ويمكن علاجها بإضافة أملاح الزنك إلى التربة أو رش الأشجار بمحلولها ، كذلك يسبب نقص الزنك فى نبات الذرة حالة تعرف « بالبرعم الأبيض » (White bud) ، وفيها تظهر الأوراق الجديدة بيضاء تكسب قمة النبات اللون الأبيض .

ويقوم الزنك بدور العامل المساعد فى عمليات التأكسد والاختزال وتكوين الكلوروفيل والبناء الضوئى وغيرها من العمليات . فهو يدخل فى تركيب إنزيم أنهيدريز الكربونيك (Carbonic anhydrase) ، الذى يعمل على تفكيك حامض الكربونيك إلى الماء وثانى أكسيد الكربون كما يلى :

يد٢ ك ا٣ ⇄ ك ا٢ + يد٢ ا

والمعتقد أن هذا الإنزيم يوجد فى الورقة فى البلاستيدات الخضراء والسيتوبلازم ، ويستدل من وجوده على أهمية الزنك فى البناء الضوئى ، كما قد يساعد وجوده فى السيتوبلازم على سرعة انطلاق ثانى أكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس .

ويعتقد فالى (Vallee) وزملاؤه — عام ١٩٥٦ — أن الزنك يدخل فى تركيب أو على الأقل لازم لنشاط دهيدروجينيز التريوز فوسفات (Triose phosphate dehydrogenase) ، وهو الإنزيم المسئول عن أكسدة وفسفرة ألدهيد فوسفو الجليسريك إلى حمض ثنائى فوسفو الجليسريك وهو أحد التفاعلات الهامة فى المرحلة اللاهوائية للتنفس .

ويعتبر سكوج (Skoog) — ١٩٤٠ — أن تأخر النمو أو توقفه فى النباتات التى تعانى من نقص الزنك يرجع لأهمية هذا العنصر فى تكوين إندول حمض الخليك وهو الهرمون النباتى الهام .

النحاس : عنصر النحاس — مثل الزنك — له تأثير سام فى النباتات إلا إذا استعمل بتركيزات منخفضة للغاية . ويعتقد أن وجود آثار ضئيلة منه أساسية لعمليات الأيض النباتى ، إذ قد أصبح من المحقق أنه يدخل فى تركيب بعض الإنزيمات المؤكسدة كأكسيديزات الفينول .

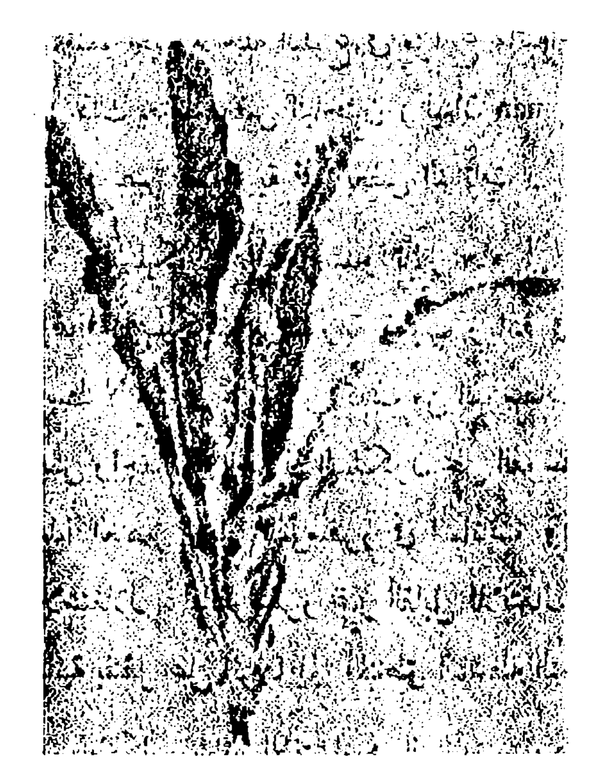
ويسبب نقص النحاس ظهور مرض الاصفرار فى نباتات الحبوب وغيرها من نباتات المحاصيل . ويبدأ ظهور الأعراض فى قمم الأوراق ، ولذلك يعرف المرض « بالقمة الصفراء » (Yellow tip) كذلك يؤثر نقص النحاس فى الموالح وغيرها من أشجار الفاكهة ، فيعقب ظهور الاصفرار فيها عجز البرعم الطرفى عن النمو وتورد القمة وموت الفروع من القمة كما هو الحال فى الزنك .

المولبدينم : وهو أحدث ما أضيف إلى قائمة العناصر الأساسية . وأول دليل على أهميته كان بالنسبة لنبات الطماطم ، ثم توالى بعد ذلك اكتشاف ضرورته لأنواع مختلفة من النباتات الراقية . ويحتاج النبات من المولبدينم إلى كمية ضئيلة جداً إذا ما قورنت بما يحتاج إليه من بقية العناصر الأساسية ، فقد وجد أن جزءاً فى ١٠,٠٠٠,٠٠٠ جزء من محلول التغذية يكفى لمنع أعراض نقص المولبدينم فى نباتات الطماطم .

والمعتقد أن المولبدينم يقوم بدور العامل المساعد فى النبات ، ويبدو أن هذا الدور مرتبط باختزال النيترات فى الخلايا إلى النوشادر ، وذلك قبل بناء الأحماض الأمينية والبروتينات . ويسبب نقص هذا العنصر ظهور بقع صفراء فى الأوراق وموت حوافيها ، وسقوط الأزهار فى الطماطم ، ونمو العرق الوسطى دون النصل فى القرنبيط (شكل ٣٧٨) .

الدور الفسيولوجى لبعض العناصر الأخرى :

وبالرغم من أن الخمسة عشر عنصراً — التى سبق ذكرها — تضم كل ما ثبتت أهميته لنمو النباتات الراقية ، فإن هناك عدداً من العناصر الأخرى اتضح أن لها تأثيراً منشطاً ، وفى بعض الأحيان اعتبرت أساسية لنمو نباتات



(شكل ٣٧٨)

نبات قرنبيط نام فى غياب المولبدينم وفيه يظهر مرض الذيل السوطى « whiptail » الناشىء عن نمو العرق الوسطى دون النصل.

(عن ستيلز ، ١٩٦١)

خاصة تحت ظروف معينة . ومن هذه العناصر : الألومنيوم والبروم والسيزيوم والكلور والكروم والكوبلت والفلور واليود والرصاص والليثيوم والسليكون والصوديوم والنيكل والسيلينيوم . وقد اختصت بعض هذه العناصر بدراسة وافية إلا أن الجزم بحقيقة عملها ما زال يتطلب المزيد من هذه الدراسة ، فمثلا لاحظ بعض الباحثين أن إضافة الصوديوم أو السليكون أو الكلور أو الألومنيوم إلى وسط النمو تسبب زيادة ملحوظة فى نمو النباتات المختلفة ، وقد اعتبر هذا دليلا على أهمية هذه العناصر .

فالصوديوم مثلا يستطيع — ولو إلى درجة محدودة — أن يحل محل البوتاسيوم كعنصر أساسى فى التغذية النباتية ، فقد لوحظ أن وجود أيونات الصوديوم تؤخر ظهور أعراض نقص البوتاسيوم وتخفف من حدتها فى نباتات الشعير .

والسليكون الذى يترسب على الجدر الخلوية لبعض النباتات — فيزيد من صلابتها ومقاومتها لمهاجمة الفطريات أو الحشرات — كان يعتبر كذلك من العناصر الأساسية ، إلا أن التجارب التى أجريت قد أوضحت أنه عنصر غير أساسى ، فالنباتات — وخاصة تلك التى تحتوى على نسبة عالية منه — تستطيع

أن تنمو حتى مرحلة البلوغ فى مزارع مائية خالية منه خلواً تاماً . وعلى الرغم من ذلك يعتقد بعض الباحثين (ليبمان Lipman ١٩٣٨) أن آثاراً ضئيلة من هذا العنصر ضرورية لنمو بعض النباتات .

وللسليكون على ما يبدو تأثير هام فى استعمال الفوسفور فى النبات ، فإضافة السليكات إلى التربة تسبب زيادة فى محصول النباتات التى تنمو فى وسط لا يحتوى على قدر كاف من الفوسفات . ويعتقد البعض أن هذا التأثير ليس راجعاً إلى إحلال السليكون محل الفوسفور ولكنه يعزى إلى أن وجود هذا العنصر يجعل الفوسفور فى النباتات وفى التربة فى حالة ميسورة صالحة للاستغلال ، فالفوسفور غير القابل للانتقال فى النباتات مثلا يتحول إلى حالة ذائبة ينتقل على أثرها إلى المناطق الناشطة النمو .

والكلور شائع الانتشار فى النباتات ، وهو يوجد غالباً على هيئة كلوريدات ذائبة . ويبدو أن أهمية الكلور بالنسبة للنبات ليس مبعثها تأثيره المباشر ، ولكنها راجعة إلى تأثير ما يضاف من كلوريدات على توازن الأيونات فى التربة أو محلول التغذية .

والألومنيوم هو الآخر شائع الانتشار فى النباتات على الرغم من وجوده فى بعضها بنسبة ضئيلة جداً ، وهو لا يعتبر من العناصر الأساسية وإن كان بعض الباحثين يعتقد أن آثاره ضرورية لنمو بعض النباتات . والألومنيوم ذو تأثير سام فى النباتات إلا إذا كان موجوداً بكمية ضئيلة جداً ، وقد يظهر تأثيره السام فى نباتات الذرة والشعير عندما يكون تركيزه جزءاً واحداً من مليون . ولعل السبب فى عدم صلاحية التربة الحمضية (التى يبلغ رقمها الإيدروجينى ٥ أو أقل) لنمو بعض النباتات راجع — ولو جزئياً — إلى التأثير السام للألومنيوم الذى يوجد بتركيزات عالية نسبياً فى مثل هذه التربة ، كما أن الألومنيوم فى الأراضى الحمضية قد يرسب الفوسفور ، ومن ثم يقلل من صلاحيته لاستغلال النباتات له . وقد تكون الفائدة التى تعود على النباتات من إضافة الجير أو الفوسفات إلى الأراضى الحمضية راجعة — ولو إلى حد ما

- إلى نقص ذوبان مركبات الألومنيوم فى التربة ، وكذلك إلى زيادة كمية الفوسفور الميسورة .

طرق الكشف عن نقص العناصر فى الحقل :

سبق أن أوضحنا أن نقص أى عنصر من العناصر الرئيسية يؤثر تأثيراً كبيراً فى النمو وتظهر على النباتات أعراض مرضية خاصة بكل عنصر ، قد يكون من السهل أحياناً تمييزها بمجرد الرؤية ، غير أنه فى كثير من الأحيان وخاصة عندما تتشابه الأعراض - كأعراض الاصفرار الناتجة عن نقص الحديد أو المنجنيز أو غيرهما - يختلط الأمر على الرائى ، ويصبح الاكتفاء بالتشخيص العينى أمراً بالغ الخطورة ، خاصة عندما يتطلب الأمر علاجاً ، فإضافة العناصر الغذائية إلى التربة قد يؤدى - ما لم يكن النبات فى حاجة حقيقية إليها - إلى الإضرار بالنبات .

والطرق المتبعة لتقدير احتياجات التربة من العناصر الغذائية يمكن تقسيمها إلى : -

(أ) تشخيص الأعراض المرئية على النبات .
(ب) التحليل الكيميائى للتربة .
(ج) الاختبار الأحيائى للتربة .
(د) التحليل الكيميائى للنبات .

وسنتناول كل طريقة على حدة فى شيء من الإيجاز .

(أ) تشخيص الأعراض المرئية على النبات : وتعتمد هذه الطريقة على ظهور أعراض مميزة لنقص عنصر ما على النبات . فنقص النيتروجين مثلا يؤدى إلى اصفرار النبات وضآلة نموه ، أما نقص البوتاسيوم فيؤدى إلى تحرق حوافى الأوراق ، وهكذا . . وعلى الرغم من أن أعراض نقص عنصر ما تتشابه بوجه عام فى كل الأجناس النباتية ، فإن بعض الأعراض تتخذ شكلا مميزاً فى نباتات معينة ، فأعراض نقص المنجنيز فى نباتات الحبوب تظهر فى

الأوراق على هيئة خطوط طولية صفراء وخضراء متبادلة . ومرض التبقع (Leaf mottling) الذى يشاهد فى أشجار الموالح ينشأ عن نقص عنصرى الزنك أو المنجنيز ، إلا أن أعراض نقص الزنك تظهر على الجانب الأكثر تعرضاً للشمس من النبات بينما تظهر أعراض نقص المنجنيز على الجانب الآخر منه .

وفى (جدول ٢٧) مقارنة لبعض الأعراض الشائعة فى كثير من الأجناس النباتية . وأساس التمييز بين الأعراض فى الجدول يعتمد بالدرجة الأولى على حركة العنصر فى النبات . فالعناصر قليلة الحركة فى النبات كالحديد والمنجنيز والبورون والكالسيوم تبدأ أعراضها فى الظهور على الأوراق البرعمية والحديثة أما العناصر سريعة الانتقال كالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والماغنيسيوم فتبدأ أعراضها فى الظهور على الأوراق المسنة .

وبديهى أن تمييز الأعراض باستعمال هذا الجدول يتطلب خبرة ومراناً طويلين ، كما أنه يجب ان يدخل فى اعتبارنا ما يظهر على النبات أحياناً من أعراض غير ناشئة عن نقص عنصر من العناصر ، ولكنها ناتجة عن عوامل أخرى كالإصابة بالحشرات أو الفيروس . كما أن زيادة الماء أو نقصه وكذلك الضوء ودرجة الحرارة ينعكس تأثيرها جميعاً على النبات فينمو نمواً غير عادى.

جدول (٢٧)

وصف مقارن لأعراض نقص العناصر فى النباتات

(مأخوذة بتصرف عن ماك مورتراى Mc Mortrey — ١٩٥٠)

(أ) أعراض محلية قاصرة على الأوراق المسنة ، أو تشمل النبات جميعه .

(ب) أعراض محلية تظهر على هيئة بقع أو اصفرار عام ، مع وجود أو عدم وجود مساحات من الأنسجة الميتة على الأوراق السفلى ، جفاف قليل أو معدوم يبدو على الأوراق السفلى .

(ج) الأوراق السفلى صفراء بين العروق الرئيسية عند القمة ، والحوافى خضراء باهتة إلى بيضاء ، القمة والحوافى مقوسة إلى أعلى ، مساحات الأنسجة الميتة غير موجودة عادة . **ماغنيسيوم**

(جـَ) الأوراق المتبقعة أو الصفراء تحتوى على مساحات صغيرة أو كبيرة من الأنسجة الميتة .

(د) مساحات الأنسجة الميتة صغيرة ، وتوجد عادة عند القمة وبين العروق، وهي أوضح ماتكون عند الحوافى ، الأوراق السفلى مقوسة إلى أسفل . . **بوتاسيوم**

(دَ) مساحات الأنسجة الميتة عامة ، تكبر بسرعة ، تشمل عادة المناطق بين العروق ، ثم لا تلبث أن تظهر فى العروق الثانوية فالابتدائية — السلاميات قصيرة . **زنك**

(بَ) أعراض عامة على النبات كله ، الأوراق السفلى تجف وتسقط ، النباتات خضراء باهتة أو داكنة .

(جـ) النباتات خضراء باهتة، الأوراق السفلى صفراء لا تلبث أن تجف وتتحول إلى اللون البنى الفاتح . . **نيتروجين**

(جـَ) النباتات خضراء داكنة ، يظهر عليها عادة اللون الأرجوانى أو الأحمر ، الأوراق السفلى صفراء أحياناً ، قد تتحول بجفافها إلى اللون البنى المخضر أو اللون الأسود ، تكون الثمار يتأخر عادة . . **فوسفور**

(أَ) الأعراض محلية تظهر على النمو الطرفى الذى يشمل الأوراق العليا والبرعمية .

(ب) موت من القمة يشمل البرعم الطرفى ، ويسبق ذلك ظهور تشوهات عند قمم الأوراق الحديثة أو قواعدها .

(جـ) أوراق البرعم الطرفى تبدو أولا خضراء باهتة ، ثم تنثنى قممها إلى أسفل وأخيراً تبدأ فى الموت عند القمم والحوافى ، وإذاحدث نمو بعد ذلك تكون قمم الأوراق وحوافيها مفقودة ، وفى النهاية يموت البرعم الطرفى . . . . **كالسيوم**

(جَ) أوراق البرعم الطرفى متخصرة ، خضراء باهتة عند القواعد ، ثم تأخذ فى التحلل فى هذه المناطق ، وإذا حدث نمو بعد ذلك تكون الأوراق ملتفة أو مشوهة ، الأنسجة الوعائية فى مناطق التحلل داكنة ، وفى النهاية يموت البرعم الطرفى . . . . . **بورون**

(بَ) البرعم الطرفى يستمر حيا ، الأوراق الحديثة أو البرعمية ذابلة أو صفراء تحتوى أولا على مساحات من الأنسجة الميتة ، العروق خضراء باهتة أو داكنة .

(ج) الأوراق الحديثة ذابلة ذبولا دائما لا تبدو عليها بقع أو اصفرار واضح . الفروع التى تلى القمة مباشرة تكون منثنية غير قائمة وخاصة فى المراحل الأخيرة للنمو عندما يشتد نقص العنصر . **نحاس**

(جَ) الأوراق الحديثة غير ذابلة ولكنها صفراء ، خالية أو محتوية على مساحات من الأنسجة الميتة مبعثرة على الورقة

(د) مساحات الأنسجة الميتة موزعة على الورقة الصفراء ، والعروق الصغيرة تستمر خضراء . ومن ثم تبدو الورقة شبكية الشكل . . . **منجنيز**

(دَ) مساحات الأنسجة الميتة غير موجودة عادة . وقد يشمل الاصفرار العروق أو لا يشملها ، ومن ثم تبدو خضراء باهتة أو داكنة .

(هـ) الأوراق الحديثة — سواء فى ذلك العروق أو ما بينها — خضراء باهتة ليست صفراء أو بيضاء . والأوراق السفلى لا يعتريها الجفاف . . . **كبريت**

(هـَ) الأوراق الحديثة صفراء ، العروق الرئيسية خضراء ، وعندما تفقد العروق لونها الأخضر تبدو جميعها صفراء أو بيضاء . **حديد**

(ب) **التحليل الكيميائى للتربة** : فى هذه الطريقة تحلل التربة كيميائيا لمعرفة محتواها من العناصر الأساسية . غير أن تقدير تركيز عنصر ما فى التربة لا يعطى صورة واضحة لكمية هذا العنصر الميسورة للنبات ، فالكثير من الأملاح المعدنية يوجد فى التربة فى صورة غير صالحة للامتصاص . ولذلك يجب أن يقتصر تقديرنا للجانب الميسور للنبات من العنصر موضوع الدراسة ، وتستخدم لهذا الغرض مخاليط معينة من حمض الخليك المخفف وخلات الصوديوم ، ترج فيها عينة التربة ، ثم تقدر العناصر فى الراشح ، وبذلك نحصل على صورة تقريبية لحالة التربة .

وهذه الطريقة غير دقيقة ، لأن ما يذيبه محلول الاستخلاص من أملاح التربة لا يمثل تماما الميسور منها للنبات . إذ أن خواص محلول التربة الطبيعى — ومن ثم الميسور من أملاحه المعدنية — يختلف كثيراً باختلاف نوع التربة ومحتواها من المواد العضوية ، كما يختلف باختلاف الظروف الجوية . كذلك فإن عينة التربة — ما لم تكن قد اختيرت وخلطت بدقة — لا تمثل محتوى التربة الحقيقى من العناصر فى مساحاتها الكبيرة وأغوارها البعيدة .

(ج) **الاختبار الاحيائى للتربة** : وتعتمد هذه الطريقة على زراعة أحد نباتات المحاصيل فى التربة المراد اختبار محتواها من العناصر ، وتجرى الزراعة فى مساحات محدودة من الحقل أو فى أصص تحتوى على قدر كبير نسبياً من تربة نفس الحقل ، وتضاف مثلا أملاح عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم منفردة ومجتمعة إلى التربة مع الإبقاء على عينات غير معاملة للمقارنة ، ثم يقدر محصول النباتات أو نموها الخضرى فى المعاملات المختلفة ويقارن بمحصول النباتات غير المعاملة . فإذا كان محصول النباتات التى عوملت بالبوتاسيوم وحده مثلا يفوق محصول نباتات المقارنة بدرجة ملموسة وكان فى نفس الوقت معادلا فى جودته لمحصول النباتات التى عوملت بمخلوط البوتاسيوم والنيتروجين والفوسفور فإنه يصبح من الواضح أن التربة تعانى من نقص البوتاسيوم فقط ، وهكذا . .

ورغم طول المدة التى تستغرقها هذه الطريقة ، فإنها تعتبر من أفضل الطرق فى الكشف عن محتوى التربة من العناصر .

وتستغل أيضاً فى الاختبار الأحيائى للتربة بعض الكائنات الدقيقة — كالبكتيريا والفطريات — التى تشبه النباتات الراقية من حيث استجابتها الإنمائية للأملاح المعدنية الميسورة فى التربة ، إذ توجد علاقة طردية بين الكمية الميسورة من ملح ما ومدى نمو البكتيرة أو الفطرة المستغلة . وترجع هذه الطريقة إلى عام ١٩٠٩ عندما استعملت الفطرة أسبرجيلس نيجر (Aspergillus niger) لتعيين الكمية الميسورة فى التربة من البوتاسيوم والفوسفور ، وسنشرح كمثل للاختبار الأحيائى للتربة باستغلال هذه الفطرة طريقة بنيك وسودنج (Benecke & Soding) لتعيين كمية البوتاسيوم .

وتجرى هذه الطريقة بتحضير منبت غذائى مناسب لنمو الفطرة ويكون خالياً من أملاح البوتاسيوم . ويقسم فى دوارق إرلنمير فى مجموعتين ، بحيث يحتوى كل دورق على خمسين ملليلتراً منه ، ويضاف كلوريد البوتاسيوم إلى إحدى المجموعتين فى درجات تركيز تتراوح بين ٠,٠٠٠٢٥ و ٠,٠٠٢٪ ، وتضاف التربة المختبرة — بعد تعقيمها — إلى المجموعة الثانية بكميات تتراوح بين ٠,١٢ وخمسة جرام ، ويحقن المنبت الغذائى فى كل دورق بمعلق مائى لجراثيم الأسبرجيلس نيجر ، ويحضن عند درجة حرارة ٣٥° مئوية لمدة ستة أيام ، ويمكن تعيين كمية البوتاسيوم الميسورة فى التربة المختبرة بمقارنة نمو الفطرة فى المجموعتين ، ويبين (جدول ٢٨) بعض الفطريات والبكتيريا المستغلة فى الاختبار الأحيائى للتربة .

(د) **التحليل الكيميائى للنبات :** تعتمد هذه الطريقة على أن تركيز عنصر ما فى الأنسجة النباتية يتوقف على كميته الميسورة للنبات فى التربة أو محلول التغذية . فإذا حللت الأنسجة النباتية لتقدير محتواها من أحد العناصر ، وربط بين هذا وبين المحصول النهائى ، أمكننا تقدير حاجة النباتات لإضافات جديدة من هذا العنصر . وتركيز عنصر ما فى النسيج النباتى لا يعتمد على ما يضاف منه إلى التربة فحسب بل يتوقف أيضاً على نوع النبات ، والظروف الجوية ، ونوع العضو النباتى المستعمل فى التحليل . وقد وجد أن الأوراق أكثر أعضاء النبات استجابة لما يحدث من تغيرات فى محتوى التربة من العناصر ، ولذلك فإنها تستخدم عادة فى التحاليل العنصرية .

جدول (٢٨)

بعض البكتريا والفطريات المستغلة فى الاختبار الأحيائى للتربة ، وبيان طريقة الاختبار : —

الملح المعدنى المختبر	الكائن المستغل فى الاختبار	معيار الاختبار
البوتاسيوم والفوسفور	أزوتوباكتر كروكوكم (Azotobacter chroococcum)	حجم وغزارة المستعمرات النامية على مستخلصات التربة
	أسبرجيللس نيجر (Aspergillus niger)	وزن الغزل الفطرى أو بالتحليل الكيميائى للفطرة
الفوسفور	كاننجهاميللا (Cunninghamella)	حجم النمو الفطرى
النحاس ، الماغنيسيوم ، المولبدينم	أسبرجيللس نيجر	كثافة لون الجراثيم
الزنـــك	أسبرجيللس نيجر	كثافة لون الجراثيم أو وزن الغزل الفطرى
المنجنيز	لاكتوباسيللس أرابينوزس (Loctobacillus arabinosus)	معايرة الحمض المتكون

ففى إحدى التجارب التى أجريت على أحد أنواع نباتات البرسيم قدر التغير فى الوزن الجاف للنباتات بتغير تركيز الفوسفور فى الورقة ، ووجد أنه فى التركيزات المنخفضة من الفوسفور يكون الوزن الجاف منخفضاً ثم يأخذ فى الزيادة كلما إزداد محتوى الأوراق من العنصر ، وذلك حتى درجة معينة لا يكون لازدياد المحتوى الفوسفورى بعدها تأثير يذكر على وزن النبات (شكل ٣٧٩) .

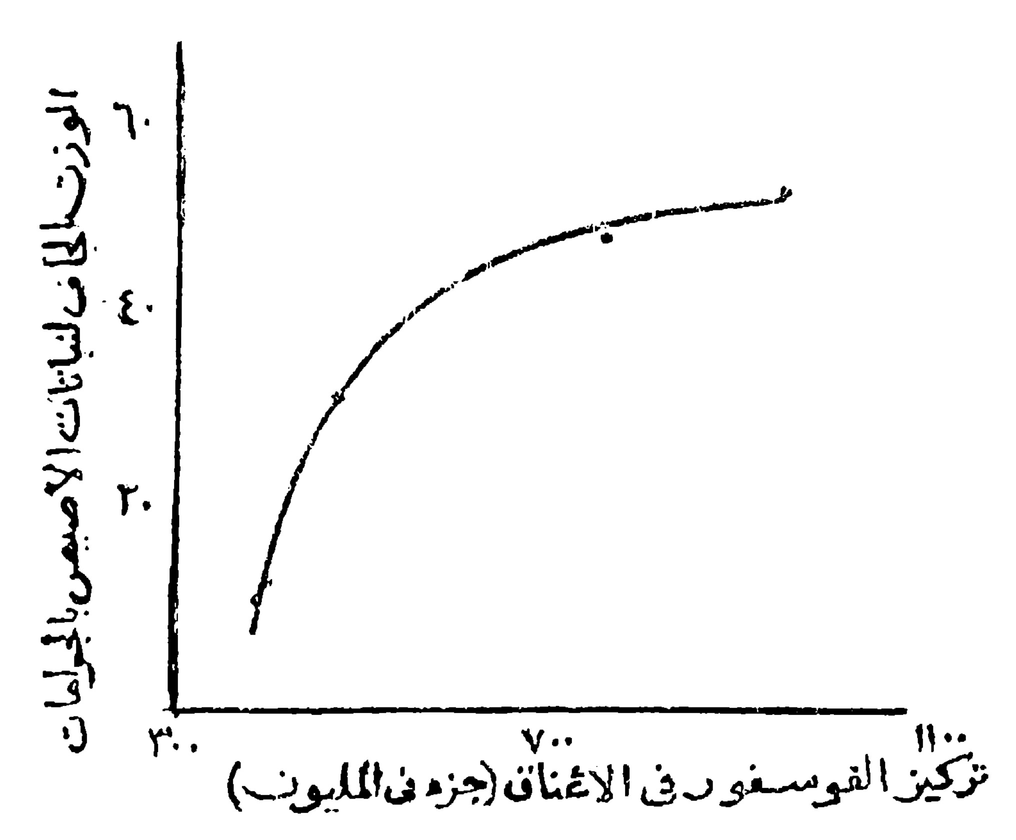
فإذا كان لدينا برسيم ينمو فى بيئة غير معلوم تكوينها العنصرى فإنه بتحليل الأوراق لمعرفة تركيز الفوسفور وتطبيق المنحنى اللاحق يمكننا معرفة ما إذا

كان النبات فى حاجة لمزيد من الفوسفور أم لا ، وذلك لكى يتحقق الحصول على أقصى محصول ممكن .

ويمكن بالطبع تطبيق ما اتبع بالنسبة للفوسفور على غيره من العناصر الأساسية . وقد استعملت هذه الطريقة لتقدير الاحتياجات العنصرية لقصب السكر وبنجر السكر والعنب وأشجار الفواكه متساقطة الأوراق وغيرها من المحاصيل .

وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تعرضت لانتقادات كثيرة ، منها صعوبة اختيار عينات تمثل النباتات تمثيلا صادقاً ، كما أن التركيب الكيميائى للأنسجة المتماثلة فى النباتات المختلفة للنوع الواحد تتفاوت تفاوتاً كبيراً ، والظروف البيئية لها تأثيرها المباشر — وخاصة على الأنسجة غير البالغة — فإنها تعتبر من أكثر الطرق اتباعاً فى تقدير الحالة العنصرية للنبات .

(شكل ٣٧٩)



منحنى العلاقة بين الوزن الجاف لنبات البرسيم وتركيز الفوسفور فى أنسجته ، وقد نمت النباتات فى هذه التجربة فى تربة أضيفت اليها كميات مختلفة من مخصب فوسفاتى ، ثم حللت الأعناق فى وقت الحصاد (أولرتش ١٩٤٨) .

الباب الثامن والثلاثون

الإنبات والكمون

استعرضنا فى الباب الثالث تركيب البذرة والأطوار المختلفة التى تمر بها أثناء الإنبات . وسنتحدث فى هذا الباب بشىء من التفصيل عن العوامل المختلفة التى تساعد على الإنبات ، سواء منها ما كان متعلقاً بالظروف البيئية الخارجية أو البذرة نفسها، ويتطلب الإنبات كما نعلم توافر عدد من العوامل الخارجية : الماء ودرجة الحرارة المناسبة والأكسيجين والضوء فى بعض الحالات . على أن توفر مثل هذه العوامل لايؤدى بالضرورة إلى إنبات البذرة بل قد تظل الأخيرة كامنة ، متأثرة فى ذلك بظروفها الداخلية . ولذلك فهناك أيضاً عوامل داخلية قد تؤثر فى إنباتها .

العوامل الخارجية

(١) الماء: تحتوى البذور على قدر ضئيل من الماء ، إلا أن نسبته فى خلايا البذرة غير المستنبتة تقل كثيراً جداً عن نسبته فى الخلايا النامية لنفس النوع . وطالما بقيت البذرة جافة فإنها لاتنبت ، وذلك لأن العمليات الفسيولوجية التى تجرى فى الخلايا الحية — وأهمها تحويل الغذاء المدخر إلى مواد بسيطة سهلة الانتقال — تحدث كلها تقريباً فى وسط مائى ، ومن ثم أصبح امتصاص البذرة للماء ضرورياً للإنبات . وبامتصاص الماء تبدأ سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية ، تنتهى — مالم تكن هناك عوامل محددة أخرى — بانبثاق الجنين أو جزء منه من البذرة .

ويتم امتصاص البذور للماء فى المراحل الأولى للإنبات أساساً بخاصة التشرب ، إلا أنه كلما زادت كمية الماء الممتص ، وتكونت فى الخلايا فجوات تحتوى على عصير خلوى ذى ضغط أزموزى مرتفع ، فإن معظم الامتصاص يتم بالخاصة الأزموزية .

وتتفاوت كمية الماء التى تمتصها البذور أثناء الإنبات تفاوتا كبيراً ، ليس بين الأنواع المختلفة فحسب بل وبين أصناف النوع الواحد أيضاً . ويمكن القول بوجه عام إن بذور القرنيات تتميز بامتصاصها لكميات كبيرة من الماء أثناء الإنبات ، أما الحبوب والبذور التى تحتوى على نسبة عالية من الدهن فتمتص قدراً أقل .

وليس من الضرورى أن يتبع امتصاص البذرة للماء إنباتها ؛ فالبذرة غير الحية قد تمتص الماء بالتشرب . وعلى النقيض من ذلك لايعنى عدم امتصاص البذرة للماء أنها فقدت قدرتها على الإنبات ؛ فبعض البذور – كبذور بعض النباتات القرنية – لها أغلفة سميكة صلبة تقاوم مرور الماء خلالها لمدة طويلة . مثل هذه البذور يمكن أن تمتص الماء بسرعة إذا نزع جزء من أغلفتها ، وفى بعض الأحيان يؤدى غمس البذور فى حمض كبريتيك مركز لفترة من الوقت إلى أن تصبح الأغلفة منفذة للماء، وتظل البذور فى هذه الحالة محتفظة بقدرتها على الإنبات ، مالم يكن غمسها فى الحمض قد استمر فترة طويلة ، وفى حالات أخرى تؤدى معالجة البذرة بالماء الدافىء إلى نفس النتيجة . وتختلف البذور فى تحملها لدرجات الحرارة المختلفة ، فعلى حين لاتصاب بذور النفل العربى (**Medicago arabica**) بأى أذى إذا غمست فى ماء يغلى لمدة سبع ساعات ونصف فإن بذور أحد أنواع اللبخ (**Albizzia moluccana**) قد تتلف إذا غمست فى ماء درجة حرارته ٨٠ – ١٠٠°م .

(٢) درجة الحرارة : لكل نوع من النباتات مدى معين من درجات الحرارة تنبت فيه بذوره. فإذا ما ارتفعت درجة الحرارة أو انخفضت كثيراً عن هذا المدى ، عجزت البذور عن الإنبات حتى لو توفرت لها ظروف الإنبات الأخرى . وفى المدى الحرارى للانبات يتأثر معدل العملية كثيراً بالتغير فى درجة الحرارة . وكسائر العمليات الحيوية ، يمكن تمييز ثلاث درجات حرارة رئيسية للإنبات هى : الدرجات الصغرى والمثلى والقصوى ، والدرجة الصغرى هى أقل درجة يحدث عندها الإنبات ، والقصوى هى

النهاية العظمى للمدى الحرارى للإنبات ، أما الدرجة المثلى فهى الدرجة التى يكون الإنبات عندها أسرع ما يمكن ، ويضم الجدول (٢٩) هذه الدرجات الرئيسية لإنبات بذور بعض النباتات ، كما قدرها هابرلانت .

جدول (٢٩)

درجات الحرارة الصغرى والمثلى والقصوى

لإنبات بذور بعض أنواع النباتات (درجة مئوية)

نوع النبات	الدرجة الصغرى	الدرجة المثلى	الدرجة القصوى
القمح	صفر — ٤,٨	٢٥ — ٣١	٣١ — ٣٧
الذرة	٤,٨ — ٣٠,٥	٣٧ — ٤٤	٤٤ — ٥٠
القنب	صفر — ٤,٨	٣٧ — ٤٤	٤٤ — ٥٠
عباد الشمس	٤,٨ — ١٠,٥	٣١ — ٣٧	٣٧ — ٤٤
الكتان	صفر — ٤,٨	٢٥ — ٣١	٣١ — ٣٧
البطيخ	١٥,٦ — ١٨,٥	٣١ — ٣٧	٤٤ — ٥٠

ويمكن القول بوجه عام أن بذور نباتات المناطق المعتدلة — كالقمح — تنبت فى مدى حرارى أكثر انخفاضاً من ذلك الذى تنبت فيه بذور نباتات المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية كالبطيخ والذرة .

ويزداد معدل الانبات بارتفاع درجة الحرارة — داخل حدود المدى الحرارى للعملية — بشرط ألا يكون هناك عامل آخر محدد للعملية . وفى درجات الحرارة المرتفعة عن الدرجة المثلى يكون معدل الإنبات فى بدايته أسرع كلما زاد ارتفاع درجة الحرارة ، غير أنه ينخفض مع الوقت ، ويكون الانخفاض أسرع كلما كانت درجة الحرارة مرتفعة . ومن ثم فإن الدرجة المثلى يجب أن تعرف بأنها أعلى درجة يستمر عندها الإنبات غير متأثر بعامل الوقت .

وتأثير درجة الحرارة على الإنبات يكاد يكون فى المراحل الأولى للعملية مقصوراً على تشرب البذور للماء . وقد اتضح من تجارب بعض الباحثين أن

ارتفاع درجة الحرارة لايؤثر فى كمية الماء التى تتشربها البذرة بل فى سرعة التشرب ، فيصحب الارتفاع فى درجة الحرارة زيادة فى معدل الامتصاص فقط. وقد قدر شول (Shull) تأثير درجة الحرارة فى امتصاص بذور بعض النباتات للماء ووجد أن المعامل الحرارى فى المدى من ٥° — ٣٥°م يتراوح بين ١,٦ و ١,٨ تقريباً . وتزيد هذه القيمة عن المعامل الحرارى للتفاعلات الفيزيائية ، وقد فسر شول ذلك بأن ثمة تغيرات كيميائية تحدث فى المادة الغروانية للبذرة . وبالإضافة إلى ما تقدم يسبب ارتفاع درجة الحرارة زيادة النشاط الإنزيمى وسرعة انتشار المواد الغذائية الذائبة من جزء إلى آخر داخل البذرة .

(٣) الأكسيجين : تحتاج البذور لكى تنبت إلى وجود الأكسيجين . فإذا خلا الجو من الأكسيجين أو كان يحتوى على قدر ضئيل منه عجزت البذور عن الإنبات. فقد وجد أن غمر بعض البذور فى الماء يفقدها القدرة على الإنبات وخاصة إذا كان الماء خالياً تماماً من الأكسيجين ، وحتى معظم النباتات المائية لاتستطيع الإنبات فى الحالة الأخيرة .

وبديهى أن الحاجة إلى الأكسيجين وقت الإنبات منشؤها نشاط عملية التنفس الذى يصاحب نمو الجنين ويتضمن التنفس امتصاص الأكسيجين وانطلاق ثانى أكسيد الكربون .

وعلى الرغم من أن إنبات الكثير من البذور يتأخر أو يتوقف عند نقص نسبة الأكسيجين ، فإن مورينانجا (١٩٢٦) وجد أن بذور البوط (**Typha latifolia**) تنبت فى الضغوط المنخفضة من الأكسيجين بدرجة تفوق كثيراً إنباتها فى الهواء ، كما وجد أيضاً أن بذور كثير من النباتات تستطيع أن تنبت تحت الماء ، والبذور الصغيرة أقدر على الإنبات فى هذه الحالة الأخيرة من البذور الكبيرة .

وبذور بعض الأعشاب الشائعة قد تبقى مدفونة فى أعماق التربة لعدة سنين دون أن تنبت ، فإذا ماتعرضت بعد ذلك على السطح — نتيجة حرث

التربة أو قلبها – فإنها تنبت فى الحال . وبديهى أن السبب فى تأخر إنبات هذه البذور هو نقص نسبة الأكسيجين أو زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أو كلاهما معاً فى هذه الأغوار البعيدة نسبياً من التربة .

وقد يكون تأخر الإنبات فى بعض البذور راجعاً – على الأقل جزئياً – إلى أن أغلفتها غير منفذة للأكسيجين لدرجة ما . ومن الأمثلة الواضحة على ذلك البذرة العليا فى ثمرة نبات الشبيط التى لاتنبت فى الظروف العادية إلا بعد عدة شهور أو حتى سنين . فإذا عولج غلاف البذرة بحيث أصبح منفذاً للأكسيجين أو زيد ضغط الأكسيجين حول البذور فإنها سرعان ماتنبت .

(٤) الضوء : يؤثر الضوء فى الإنبات بدرجات متفاوتة ؛ ففى غالبية النباتات لايكون للضوء تأثير فى إنبات البذور . وتوصف البذور فى هذه الحالة بأنها متعادلة بالنسبة للضوء (Light - indifferent seeds) . وتنتمى إلى هذه المجموعة بذور معظم النباتات ذات الأهمية الزراعية . وفى مجموعة أخرى من النباتات يساعد الضوء على الإنبات ، وقد لايحدث الإنبات – فى نباتات معينة مثل شجرة الدبق (Mistletoe) مالم تعرض البذور فترة للضوء ؛ وتعرف بذور هذه المجموعة بالبذور الحساسة للضوء (Light-sensitive seeds) ، ومن أمثلتها بذور نبات البوصير (Verbascum thapsus) وبعض نباتات الفصيلة الكراسيولاسية (Crassulaceae) ونبات الفرندل (Lathyrus solicaria) . وعلى النقيض من بذور هذه المجموعة ، يسبب تعريض بذور بعض النباتات للضوء تأخر إنباتها أو عدم حدوثه على الإطلاق وتوصف هذه البذور بأنها غير قابلة للضوء (Light-hard seeds) ، ومن أمثلتها بذور البصل وكثير من نباتات الفصيلة الزنبقية ، وأحد أنواع الفلوكس (Phlox drummondii) وجنس نيموفيلا (Nemophila) .

وفى بعض الحالات تكون كمية الضوء اللازمة لإنبات البذور الحساسة للضوء ضئيلة جداً ، فبذور نبات التبغ إذا عرضت للضوء المنتشر وهى فى تمام انتفاخها مدة ساعة واحدة كان ذلك كافياً لاستحثاث الإنبات ، وثمة

مثل آخر أكثر غرابة هو مالوحظ عند استنبات بذور نوع الفرندل (Lythrum solicaria) . فقد وجد عند حفظ البذور فى الظلام عند ٣٠°م أن ٦ — ٧ ٪ من البذور تامة الإنبعاج قد تنبت فى خلال ٢٤ ساعة ، ولم تزد تلك النسبة زيادة ملموسة بعد فترة طولها ٧ أيام . فلما عرضت البذور بعد ذلك إلى ضوء شدته ٧٣٠ شمعة قدمية مدة ١/٢ ثانية فقط كان ذلك كافياً لزيادة الإنبات إلى ٥٠ ٪ فى خلال ٢٤ ساعة .

ودور الضوء فى الإنبات يتأثر إلى درجة كبيرة بغيره من العوامل الجوية ومن أهم هذه العوامل عمر البذرة ، ودرجة الحرارة ، وطبيعة الوسط ، وقد يكون لضغط الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون تأثير فى بعض الأحيان . فإنبات بذور بعض النجيليات — كأنواع السبل (Poa spp.) — يتأثر فى الظروف العادية بالضوء ، فإذا خزنت تلك البذور وهى جافة لفترة من الزمن اختفى هذا التأثير . كذلك قد تنبت بذور نبات التبغ فى الظلام إذا تعرضت لمعاملات متعاقبة من الحرارة (٨ ساعات يوميا عند ٥°م و ١٦ ساعة عند ٢٣°م) . وبالمثل تستطيع بذور البرسمون (Chloris ciliata) الحساسة للضوء أن تنبت فى الظلام التام إذا أحيطت بجو من الأكسيجين النقى ، وقد لاحظ بعض الباحثين أن نزع أغلفة البذور الحساسة للضوء أو معاملتها بالماء الدافىء أو نقعها فى فوق أكسيد الإيدروجين أو حمض الكلوريدريك قد ينتج عنها نفس التأثير .

وفعل الضوء فى إنبات البذور غير واضح تماماً ، وفى سبيل تفسير ذلك وضعت ثلاثة فروض يفسر كل منها حالات معينة فحسب . وأول هذه الفروض يعتبر أن الضوء يعمل كحافز للإنبات ، أما الفرض الثانى فيعتبر الضوء عاملا مساعداً ، على حين يفترض الثالث أنه فى أثناء الأنبات تتكون مواد مثبطة ، وأن تكونها يتوقف فى وجود الضوء ، وعلى ذلك فإنه فى حالة البذور الحساسة للضوء لايحدث الإنبات إلا إذا وجد الضوء أو أى عامل آخر من شأنه أن يوقف تكون المادة المثبطة .

الكمون

لاتستطيع أنواع كثيرة من البذور — وإن بدت ناضجة — أن تنبت حتى ولو هيئت لها كل الظروف المساعدة على الإنبات . ويعزى عدم الإنبات فى مثل هذه الظروف إلى عوامل داخل البذور نفسها . ويستخدم اصطلاح « الكمون » (Dormancy) للتعبير عن حالة هذه البذور ، فيقال أنها فى حالة كمون . .

ويعزى كمون البذور إلى عدد من العوامل ، وقد يكون الكمون فى بعض البذور راجعاً إلى عامل أو أكثر من هذه العوامل ، وفيما يلى دراسة موجزة لأهم هذه العوامل :

(١) عدم اكتمال نضج الجنين : فى بعض أنواع البذور لاتكون الأجنة عند انتثارها ناضجة ، ولابد لها لكى تنبت أن يتم نضجها ، ويبدأ الجنين فى استكمال نموه عندما تتوفر للبذرة الظروف المواتية للإنبات ، وقد يستغرق ذلك فترة زمنية تتراوح من أيام قليلة إلى عدة شهور . ويوجد هذا النوع من الكمون فى شجرة المعبد (Ginkgo biloba) ونبات المامير ان الصغير (Ranunculus ficaria) ولسان العصفور (Fraxinus excelsior) وكثير من الأراشد .

(٢) عدم إنفاذ غلاف البذرة للماء والأكسيجين : فى كثير من النباتات تكون أغلفة البذور غير منفذة تماما للماء فى وقت نضجها . ومن أمثلة ذلك بذور كثير من النباتات البقلية كالسنط والبرسيم وبسلة الزهور ، كما يوجد هذا النوع من الكمون فى بعض الفصائل الأخرى كالفصيلة الخبازية . وتصبح أغلفة بذور هذه النباتات بالتدريج منفذة للماء فى مدة خزنها . ويكون هذا التحول بطيئا جداً إذا خزنت البذور جافة ، وأقل بطئا إذا توفرت لها الظروف المواتية للإنبات ، غير أن هذا التحول يتم سريعاً إذا تعرضت البذور لتقلبات بيئية أشد من تلك التى توجد فى الظروف العادية . وقد تعمل بعض أنواع البكتيريا والفطريات على زيادة إنفاذ أغلفة البذور للماء ، ومن ثم تقصر فترة كمون بعض أنواع البذور التى تكون مدفونة فى الطبقات السطحية من التربة .

وقد يكون الكمون راجعا إلى عدم إنفاذ أغلفة البذور للأكسيجين بدرجة تامة أو جزئية ، كما هو الحال فى نبات الشبيط الذى سبقت الإشارة إليه ، فثمرة الشبيط تحتوى على بذرتين ليستا فى درجة واحدة من الكمون فعلى حين تنبت البذرة السفلى فى الربيع التالى لنضجها ، فإن البذرة العليا تبقى كامنة إلى العام التالى . ويعزى ذلك إلى أن أغلفة البذور الأخيرة غير منفذة للأكسيجين ، فإذا نزع غلاف البذرة أو زيد تركيز الأكسيجين حول البذرة الصحيحة حدث الإنبات . وفى الظروف العادية تصبح الأغلفة منفذة للأكسيجين بالتدريج ، ومن ثم كان التناقص التدريجى فى حدة الكمون . ويبدو أن الكمون الموجود فى بذرة عدد من الحشائش وكثير من نباتات الفصيلة المركبة مرده إلى عدم إنفاذ أغلفه البذور للأكسيجين .

(٣) مقاومة غلاف البذرة للتمزق : ويوجد هذا النوع من الكمون فى بذور بعض الأعشاب الشائعة مثل الخردل ومزمار الراعى (Alisma) وكيس الراعى والدلاق (**Amaranthus retroflexus**) ، حيث تبقى البذور فى حالة كمون لأن أغلفتها من القوة بحيث تحول دون انبثاق الجنين . وبذور مزمار الراعى إذ حفظت جافة تظل كامنة عدة سنين ، أما بذور الدلاق فعلى العكس منها تخرج من كمونها فى شهور قليلة إذا حفظت فى ظروف مماثلة ، ويعزى ذلك دون شك لحدوث تغيرات فى المكونات الغروية للقصرة تجعلها أقل مقاومة لانتفاخ البذرة . على أن هذه البذور الأخيرة إذا ظلت مشبعة بالماء فإنها تحتفظ بكمونها لعدة سنين . والطرق المتبعة لإزالة هذا النوع من الكمون هى خدش أغلفة البذور أو معاملتها بحمض الكبريتك وقد يكون لبعض الأحماض الأخرى والقلويات تأثير مماثل .

(٤) كمون الجنين : فى كثير من النباتات تعجز الأجنة عن الإنبات بعد نزع أغلفة البذور ، حتى ولو هيئت لها كل الظروف المواتية للإنبات . فى هذه الحالة تحدث قبل الإنبات تغيرات معينة فى الجنين ، ويجب أن نميز بين هذا النوع من الكمون وذلك الذى يعزى إلى عدم اكتمال نضج الجنين .

فالجنين فى النوع الأخير تحدث به تغيرات شكلية ، أما فى هذا النوع من الكمون موضوع الدراسة فهو مكتمل النمو ولا تحدث به غير تغيرات فيزيائية معينة . ومن بين الأنواع الكثيرة من النباتات التى يوجد فى بذورها هذا النوع من الكمون التفاح والخوخ والزعرور البري والشوكران . ويمكن تقصير فترة الكمون بمعالجة البذور بالأحماض .

ومن الممكن أن يكون فى بعض البذور الحساسة للضوء كمون من هذا النوع ، وأن تعريض هذه البذور للضوء من شأنه أن يعجل بالعمليات التى تحدث فى فترة ما بعد النضج .

الكمون الثانوى : بعض البذور القادرة على الإنبات بعد نضجها مباشرة تفقد هذه القدرة وتدخل فى حالة من الكمون – يعرف بالكمون الثانوى – إذا حفظت لفترة ما فى ظروف غير ملائمة للإنبات . فعلى سبيل المثال إذا عرضت بذور الخردل الأبيض لتركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون فإنها تعجز عن الإنبات – حتى لو توفرت لها كل الظروف الملائمة – لفترة طويلة عقب إزالة هذا الغاز . وقد تمر البذور الحساسة للضوء بفترة من الكمون الثانوى إذا حفظت فى الظلام ، كما أن البذور التى لا تنبت إلا فى الظلام ، قد تصيبها حالة من الكمون إذا عرضت للضوء . وقد يستحث الكمون الثانوى فى بعض أنواع البذور إذا تعرضت لدرجات من الحرارة تقل عن الدرجة الصغرى أو تزيد عن الدرجة القصوى للإنبات .

وينشأ الكمون الثانوى عادة نتيجة تغيرات معينة فى غلاف البذرة ، وذلك لأن الأجنة فى بعض أنواع البذور تستطيع أن تنمو مباشرة بعد نزع الأغلفة . وفى أنواع أخرى من البذور ينتج الكمون الثانوى من تغيرات فسيولوجية تحدث فى الجنين ، والكمون الثانوى – كالابتدائى – يمكن أن يزول بمعاملات خاصة .

أمد احتفاظ البذور بحيويتها

تحتفظ البذور بحيويتها لمدة تتفاوت تفاوتا كبيراً فى الأنواع المختلفة من

النباتات ، وكلما طال زمن حفظ البذور فإنها تفقد قدرتها على الإنبات تدريجياً حتى تموت . فمثلا ، بذور بعض أنواع جنس الأكساليس تنبت عندما تكون غضة بعد خروجها من الثمرة مباشرة ، ولكنها تموت عندما تجف . وبذور الأنواع المختلفة من جنس الصفصاف تنبت خلال ١٢ ساعة إذا زرعت بعد نضجها مباشرة ، ويستغرق الإنبات وقتاً أطول إذا حفظت البذور لأيام قليلة ، فإذا حفظت لمدة أطول فقدت قدرتها على الإنبات نهائياً . وتحتفظ بذور جنس الحور بحيويتها لفترة أطول ، ولكنها لاتزيد على أسابيع قليله ، وتحتفظ بذور كثير من محاصيلنا الزراعية بحيويتها لمدد أطول نسبيا ، فبذور البصل والخس والجزر والقرنبيط تفقد قدرتها على النمو بعد سنتين أو ثلاث من خزنها فى الظروف العادية ، وتفقد الحبوب نسبة ضئيلة من حيويتها إذا طالت مدة حفظها من ٥ إلى ١٠ سنوات . على حين أن بذور البقليات كالبرسيم والبازلاء والباقلاء تحتفظ بالكثير من حيويتها لمدة تتراوح بين ١٠ و ٢٥ سنة . وتتميز البذور التى تحتفظ بحيويتها لمدة طويلة بقصرات سميكة صلبة عادة ، وغير منفذة للماء والغازات فى بعض الأحيان .

على أن هناك حالات متطرفة تحتفظ فيها البذور بحيويتها لمدة طويلة جداً فقد نجح بيكرل (١٩٣٥) فى إنبات بذور نوع من جنس الكاسيا كانت محفوظة فى متحف التاريخ الطبيعى بباريس مدة ١١٥ سنة . وقد ذكر فى وقت من الأوقات أن ثمة حبوبا وجدت مدفونة مع مومياء قدماء المصريين ، يتراوح عمرها بين ٢٠٠٠ و ٥٠٠٠ سنة وأن بعض هذه الحبوب قد نبتت . غير أن هذا القول لاشك زائف ، فقد أثبت الفحص الدقيق أن هذه الحبوب حديثة وأن وجودها فى هذه الأماكن وليد ظروف خاصة .

ومن الجدير بالذكر أن إنبات البذور المسنة يكون بطيئا وضئيلا كما أن البادرات الناتجة تكون فى العادة ضعيفة وتكثر فيها التشكلات الشاذة .

وقد وضعت فروض كثيرة لتفسير فقد البذور لحيويتها كلما طالت مدة حفظها . فقد رأينا فيما سبق أن مجرد الجفاف قد يؤدى إلى قتل بعض أنواع

البذور ، غير أن البذور التى تحتمل الجفاف بسهولة لا تكون فقدان الحيوية فيها بسبب طول العمر راجعا إلى الجفاف ، بل فى الحقيقة يتأخر موت هذه البذور بحفظها وهى جافة تماما . وحيث أن الأنسجة الحية — حتى عندما تجف فى الهواء — تقوم بعملية التنفس بمعدل بطىء ، فقد أصبح من المعقول أن المواد الغذائية المدخرة تستهلك بالتدريج ومن ثم تموت الخلايا فى النهاية من الجوع . غير أن معظم البذور — باستثناء بذور الأراشد — التى فقدت حيويتها فى أثناء مدة خزنها الطويلة وجدت محتوية على قدر وافر من المواد الغذائية .

وقد عزى بعض الباحثين فقدان البذور لحيويتها إلى تلف الإنزيمات اللازمة لتحويل المواد الغذائية المدخرة إلى مواد بسيطة سهلة الانتقال . غير أنه قد أمكن الحصول على هذه الإنزيمات فى حالة نشيطة من بذور فقدت حيويتها منذ عدة سنوات . ويعتبر كروكر وجروفز (Crocker & Groves) أن فقدان الحيوية فى البذور التى تخزن وهى جافة راجع إلى تغيير طبيعة البروتينات أو تجمدها فى بروتوبلازم الجنين . ومما يرجح هذا الرأى أن البروتينات العادية كزلال البيض تتجمد بسرعة عند درجة الغليان ، ولكنها تتجمد فى درجة الحرارة المنخفضة إذا تركت لمدة طويلة .

ويمكن إطالة فترة احتفاظ البذور بحيويتها بحفظها فى درجات حرارة ورطوبة نسبية منخفضة . وقد يكون لبعض العوامل الداخلية — مثل درجة نضج البذور عند حصادها ، ومحتواها المائى عند خزنها ، وكذلك بعض العوامل الوراثية — أثر كبير فى تحديد فترة حيوية البذور .

الباب التاسع والثلاثون

النمو

تتميز جميع النباتات – على اختلاف صورها ودرجات تعضيها – بقدرتها على التغير البطىء طوال فترة حياتها؛ فهى لا تخلق بالغة تامة التركيب، بل تنشأ صغيرة ثم تكبر بتدرج وانتظام حتى تصل إلى مرحلة البلوغ والتكاثر. وقد لاتتجاوز هذه التغيرات فى الكائنات وحيدة الخلية زيادة ظاهرية فى الحجم حتى تصل إلى مثل حجم الخلية الأبوية ثم تبدأ بدورها فى الانقسام. أما فى النباتات عديدة الخلايا – وخاصة الوعائية منها – فإن هذه التغيرات تتضمن تعقيداً ملحوظاً فى أجسامها، من شأنه أن يجعلها متميزة إلى أجزاء مختلفة الشكل والوظيفة، فيترتب على ذلك مايسمى « بالتقسم الفسيولوجى للعمل ». بمعنى أن كل وظيفة يقوم بها عضو أو مجموعة أعضاء معينة. وفى نفس الوقت لا تعمل هذه الاعضاء مستقلة عن بعضها البعض بل أن هناك تناسقا بين نشاط مختلف الأجزاء بحيث يبدو النبات وحدة متناسقة.

ويشتمل التطور فى الشكل على النمو. وقد يستعمل لفظا « النمو » و « التطور » فى بعض الأحيان كمترادفين، وإن كان يقصد بالتطور أحيانا تغير الشكل والصورة ودرجة التعقيد الذى يحدث بالكائن الحى، بينما يشتمل النمو على الزيادة فى الحجم فقط. ولما كان الازدياد فى الحجم قد ينشأ من زيادة المحتوى المائى، وهى زيادة قد تكون مؤقتة تزول بزوال المؤثر – فقد أصبح تعريف النمو بأنه زيادة فى الحجم فحسب غير واف. وقد أخذت الزيادة فى الوزن الجاف فى بعض الأحيان كتعبير عن النمو، إلا أن هذه الزيادة قد تكون ناتجة عن إضافة مادة غير حية لاعلاقة لها بالنمو، كذلك يحدث أحيانا أثناء الإنبات أن ينقص الوزن الجاف للبادرة على الرغم من الزيادة الملحوظة فى حجمها ودرجة تشكلها. وعلى ذلك يعرف النمو بأنه الزيادة

الثابتة فى الحجم التى تقترن عادة — وليس دائماً — بالزيادة فى الوزن الجاف وفى كمية البروتوبلازم .

والمادة الجافة التى تدخل فى تركيب كل من البروتوبلازم والجدر الخلوية أثناء النمو تأتى كلها من عملية البناء الضوئى وغيرها من عمليات البناء . وعلى ذلك فمن الضرورى لكى يحدث النمو أن تزيد كمية المواد التى تدخل إلى جسم النبات من البيئة المحيطة به على ما يفقده فى عملية التنفس — هذا على الرغم من أن النبات قد ينمو لفترات قصيرة ومع ذلك يفقد بعض وزنه الجاف كما سبق أن ذكرنا — وقد وجد فعلا أنه فى أثناء فصل النمو يكون معدل البناء الضوئى أضعاف معدل التنفس .

مناطق النمو ومراحله : يتميز النمو فى النباتات الراقية بصفتين هامتين : الأولى أنه يستمر — ولو بدرجات متفاوتة — طول حياة النبات ، والثانية أنه ينحصر فى مناطق خاصة تعرف بمناطق النمو ، مثل أطراف الجذور وقمم السيقان ومنطقة الكامبيوم ، وقد سبق أن تناولنا وصف هذه المناطق بالتفصيل فى القسم الخاص بالتشريح . ويتم النمو فى هذه المناطق على ثلاث مراحل تعرف بمراحل النمو ، وهى مرحلة الانقسام الخلوى (Cell division) ، ومرحلة الزيادة فى حجم الخلية (Cell enlargement) ومرحلة التميز الخلوى (Cell differentiation) .

(أولا) مراحل الانقسام الخلوى : تتكون فى هذه المرحلة خلايا جديدة بسبب انقسام خلايا خاصة تعرف بالخلايا الإنشائية ، كتلك التى توجد فى النسيج الإنشائى الأولى فى قمة الساق أو الجذر ، وتظل بعض الخلايا الناتجة عن الانقسام إنشائية ، أى تعود إلى الانقسام بدورها ، أما بقية الخلايا فتتحول بالتدريج إلى خلايا بالغة تتشكل لتلائم النسيج الذى ستكون جزءاً منه ، أى أن هذه المرحلة تتميز بزيادة عدد الخلايا وكمية البروتوبلازم . ويتطلب ذلك قدراً كبيراً من المواد الغذائية تصل إلى الأنسجة الإنشائية من أعضاء التمثيل كما ذكرنا فى الباب السابق .

(ثانياً) مرحلة الزيادة فى حجم الخلية : يزداد حجم الخلايا فى هذه المرحلة

نتيجة متصاص الماء ، وتضطرد الزيادة بعد تكوين الفجوات العصارية ، إذ تعمل قوة الامتصاص الأزموزية على امتصاص قدر كبير من الماء يسبب تمدد الخلية. فإذا كان الجدار الخلوى على درجة كافية من اللدونة (Plasticity) فإن هذا التمدد يصبح ثابتاً ، ومن ثم تستطيل الخلية استطالة حقيقية .

وينتج عن تمدد الجدار تناقص سمكه تدريجياً ، مما يؤدى إلى ترسيب مواد جدارية جديدة . وفى هذا الطور من أطوار النمو يزداد حجم الفجوة العصارية وتصبح جزءاً ثابتاً من الخلية ويبدو البروتوبلازم كطبقة رقيقة بين الجدار الخلوى والفجوة . وعندئذ تصبح هذه الخلايا البالغة ذات الحجم الكبير متميزة بوضوح عن الخلايا الإنشائية الصغيرة الممتلئة بالبروتوبلازم ويكون التميز أكثر وضوحاً إذا ظلت كمية البروتوبلازم ثابتة كما كانت فى الخلية قبل بلوغها ، إلا أن الزيادة فى الحجم يصحبها عادة بناء كمية جديدة من البروتوبلازم .

(ثالثاً) **مرحلة التميز الخلوى :** تشمل هذه المرحلة — التى تبدأ بعد نمو الخلية فى الحجم — على تغيرات كثيرة مختلفة تشريحية وفسيولوجية . وتتناول بعض هذه التغيرات حجم الخلايا وشكلها ، كما يتصل بعضها بطبيعة الجدر الثانوية ومدى تكوينها ، بينما تنصب تغيرات أخرى على المحتويات البروتوبلازمية للخلايا . ويتميز نتيجة لذلك عدد كبير من الأنواع المختلفة من الخلايا يختص كل نوع منها بوظيفة معينة . والخلايا البارنشيمية هى أقل الأنواع تميزاً ، وتختلف عن الخلايا الإنشائية فى زيادة حجمها ودرجة نمو فجواتها ولاتتكون فيها الجدر الثانوية عادة بل تظل جدرها رقيقة وخاصة تلك التى تكون النخاع والقشرة والأشعة النخاعية . أما الخلايا التى تتحول إلى عناصر وعائية — كالأنابيب الغربالية والأوعية الخشبية والألياف — فتتعرض لتغيرات عديدة ، إذ تزداد كثيراً فى الحجم ، وتتكون فى الأوعية الخشبية والقصيبات جدر ثانوية تتخذ أشكالا مختلفة منها الحلقى والحلزونى والمنقر ، وتتميز هذه الجدر الثانوية بترسب مادة اللجنين عليها .

أما التمييز على أساس المحتويات البروتوبلازمية فقد يتضمن انقراض تلك المحتويات تماما كما هو الحال فى الأوعية والقصيبات والألياف . وفى أنواع أخرى من الخلايا — كالأنابيب الغربالية — تختفى الأنوية بعد مدة ويستمر السيتوبلازم فى القيام بوظيفته ، ومن المعتقد فى هذه الحالة أن أنويه الخلايا المرافقة الملاصقة للأنابيب الغربالية تقوم بوظيفة النواة بالنسبة للعناصر الأخيرة أيضاً .

وعندما تصل الأعضاء ذات النمو المحدود — كالأوراق — إلى حالة البلوغ الدائم تكون كل خلية من خلاياها قد مرت خلال هذه المراحل الثلاث للنمو . ولما كانت الزيادة فى حجم العضو بأكمله هى عبارة عن مجموع الزيادات فى حجم خلاياه منفردة فإنه من المتوقع أن يظهر العضو نفس التتابع فى مراحل النمو التى تمر بها الخلايا المكونة له . ففى المراحل الأولى لنمو الورقة مثلا — وهى مازالت فى البرعم — تكون معظم خلاياها إنشائية مستمرة فى الانقسام ، ويعقب هذه المرحلة المبكرة مرحلة الزيادة فى الحجم وتفلطح الورقة ثم تأتى بعد ذلك مرحلة التميز الداخلى .

أما الأعضاء ذات النمو غير المحدود — كالسيقان والجذور — فتبقى فيها عند القمة منطقة إنشائية ، ولكن الخلايا التى تنتج منها بالانقسام تمر وهى تبتعد عن القمة فى مرحلة الزيادة فى الحجم والتميز الداخلى ثم يقف نموها بعد ذلك . وفى أثناء حدوث هذه التغيرات تستمر الخلايا الإنشائية عند القمة فى انقسامها منتجة إلى الداخل خلايا أخرى تمر بالتدريج إلى الحالة المستديمة . وعلى ذلك إذا مررنا من القمة تجاه الأجزاء المسنة للعضو فإن أحدث الأجزاء تكون فى المرحلة الأولى للنمو ، والأجزاء التى تليها تكون أساساً فى طور الزيادة فى الحجم ، أما أكبر الأجزاء سنا فتكون قد توقفت عن الازدياد فى الحجم وتم تميزها الداخلى .

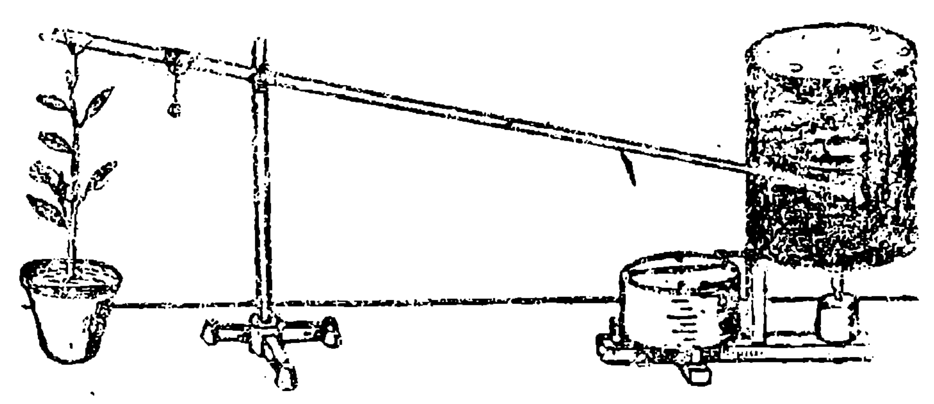
طرق قياس النمو :

تستخدم لقياس النمو طرق كثيرة يعتمد اختيار إحداهما على نوع العضو النامى وطبيعة نموه ، ففى الجذور والسيقان يقدر النمو عادة بالزيادة فى الطول ،

وفى الأوراق يقاس بالزيادة فى المساحة . وقد تستخدم فى قياس النمو طريقة تقدير الزيادة فى الوزن الرطب أو الوزن الجاف للنبات كله أو لأحد أعضائه .

طريقة تقدير الزيادة فى الطول : يمكن تتبع الاستطالة فى الساق بصورة مستمرة بوساطة جهاز تسجيل ذاتى يعرف بمقياس النمو أو الأوكسانومتر (Auxanometer) ويتركب كما فى شكل (٣٨٠) من رافعة خشبية خفيفة يوصل أحد طرفيها بقمة الساق النامية بواسطة خيط حريرى ، ويلامس الطرف الآخر أسطوانة مغطاة بطبقة من السناج ، يرسم مؤشره عليها مجموعة من الخطوط الأفقية ، يمثل كل منها نهاية فترة زمنية . ويكون مركز الثقل الذى تتحرك عليه الرافعة قريباً جداً من النبات بحيث إذا استطالت القمة يهبط الطرف المسجل بدرجة أكبر . ويثبت ثقل صغير بواسطة ركاب بين مركز الثقل والنبات لكى يتضاءل تأثير الرافعة على النبات إلى أقل حد ممكن . وتتحرك الأسطوانة المغطاة بالسناج حركة دائرية حول قائم رأسى من الحديد على فترات منتظمة بوساطة جهاز ساعة . وعند كل حركة يسجل المؤشر خطاً صغيراً ، وفى نهاية التجربة تكون المسافة بين العلامات التى خطها المؤشر على الأسطوانة ممثلة للزيادة فى الطول مكبرة بمقدار النسبة بين ذراع الرافعة الطويل وذراعها القصير ، وعلى ذلك فيمكن حساب الزيادة الحقيقية فى الطول من المعادلة :

(شكل ٣٨٠



الاوكسانومتر المسجل ، وترى الزيادة فى طول النبات مكبرة على الأسطوانة المغطاة بالسناج .

الزيادة الحقيقية فى الطول « النمو » =

$$\text{الزيادة المكبرة (المسافة على الأسطوانة)} \times \frac{\text{طول الذراع القصيرة للرافعة}}{\text{طول الذراع الطويلة للرافعة}}$$

طريقة تقدير الزيادة فى المساحة : تستعمل هذه الطريقة فى حالة الأعضاء المنبسطة كالأوراق ، حيث تستخدم آلة تعرف بمقياس السطوح أو البلانيمتر (Planimeter) ، ويتركب من ذراعين تعرف إحداهما بذراع القياس وتنتهى بسن مدبب ، وتعرف الأخرى بذراع الثقل (شكل ٣٥٠) . ولقياس مساحة الورقة يبسط النصل على ورقة بيضاء وتحدد حافته ، ثم يثبت الثقل خارج النصل ، وتضبط ورنية الجهاز على صفر التدريج ، ويمرر السن الذى فى طرف ذراع القياس على حافة الورقة فى اتجاه عقرب الساعة حتى يعود إلى نقطة البدء ، عندئذ تكون القراءة التى تبينها الورنية مساوية لمساحة الورقة . فإذا قيست مساحة الورقة بعد فترات زمنية محددة فإنه يمكن حساب الزيادة فى مساحة الورقة نتيجة لنموها .

طريقة تقدير الزيادة فى الوزن الجاف : يقاس النمو أساساً بتتبع الزيادة فى الوزن الجاف فى زمن معين . ولإجراء ذلك بالنسبة لنبات ما يؤخذ عددمنه من مجموعة متجانسة ويجفف فى فرن عند درجة ١٠٥°م ، وعند ثبوت الوزن يقدر الوزن الجاف ، ومنه يمكن معرفة الوزن الجاف للنبات الواحد . أمابقية المجموعة فتترك لتنمو فى الظروف التجريبية المرغوبة ، وتؤخذ منها بين حين وآخر عينات مماثلة ويقدر وزنها الجاف ومنه تحسب الزيادة فى الوزن الجاف للنبات الواحد . ومن الواضح أن نجاح هذه الطريقة يعتمد على اختيار مجموعة متجانسة من النباتات عند كل قياس . وتعد هذه الطريقة أكثر الطرق استعمالا فى قياس النمو .

فترة النمو الكبرى

إذا تتبعنا نمو نبات كامل — أو أى عضو نباتى — اتضح أن معدل النمو لايكون منتظما طول دورة الحياة ، بل يبدأ هذا المعدل بطيئاً ، ثم يأخذ فى التزايد سريعاً حتى يصل إلى حد أقصى ، يبدأ بعده فى التناقص حتى يقترب

من الصفر وعندئذ يكون النمو قد توقف تماماً . وقد أطلق ساكس (Sachs) على الفترة من دورة الحياة التى تتم فيها هذه المراحل الثلاث من النمو مجتمعة إسم « فترة النمو الكبرى » (Grand period of growth) . وقد وجد ساكس عند دراسته للنمو فى منطقة من الجذر الابتدائى لنبات الفول — طولها عند بداية التجربة ملليمتر واحد وتقع خلف القمة النامية — أن هذه الفترة تمتد إلى سبعة أيام ، ويوضح الجدول (٣٠) مدى النمو فى الأيام المتتابعة .

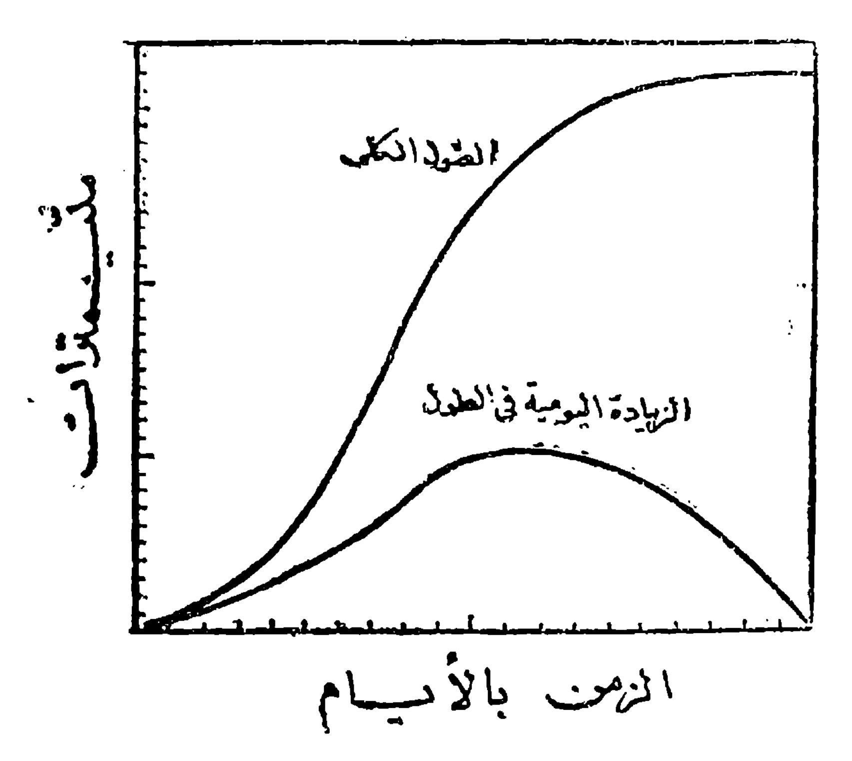
جدول (٣٠)

نمو منطقة من الجذر الابتدائى لنبات الفول ، طولها عند بدء التجربة ملليمتر واحد

اليوم	الطول الكلى (بالملليمتر)	الزيادة اليومية فى الطول (بالملليمترات)
ساعة الابتداء	١	—
اليوم الأول	٢,٨	١,٨
اليوم الثانى	٦,٥	٣,٧
اليوم الثالث	٢٤,٠	١٧,٥
اليوم الرابع	٤٠,٥	١٦,٥
اليوم الخامس	٥٧,٥	١٧,٠
اليوم السادس	٧٢	١٤,٥
اليوم السابع	٧٩	٧
اليوم الثامن	٧٩	صفر

فإذا عبر عن هذه النتائج بيانيا أمكن الحصول على منحنين متميزين (شكل ٣٨١) أحدهما — وهو منحنى الزيادات اليومية فى النمو — تظهر فيه نهاية قصوى ويعرف بمنحنى معدل النمو (Growth rate curve) ، أما المنحنى الآخر الذى يمثل النمو الكلى — ويعرف بمنحنى النمو (Growth curve) — فيأخذ شكل حرف (S) (Sigmoid curve) . وهو يبدأ فى الصعود ببطء ثم بسرعة وأخيراً يقترب من الاتجاه الأفقى .

(شكل ٣٨١)



منحنيات النمو فى الطول لعضو نباتى خلال عدة أيام . ويمثل المنحنى العلوى الطول الكلى للعضو فى الأيام المتتابعة ، أما المنحنى السفلى فيمثل الزيادة اليومية للنمو .

ومنحنى النمو للعضو النباتى هو عبارة عن مجموع منحنيات النمو للخلايا المكونة له ، وذلك لأن كل خلية عند نموها لابد أن تمر – كما سبق أن ذكرنا – فى هذه المراحل الثلاث ، أى أنها تمر فى فترة نمو كبرى . وبالمثل فإن منحنى النمو للنبات الكامل هو محصلة منحنيات النمو لأعضائه المختلفة . ويتحكم التركيب الوراثى لأى نوع من النباتات فى شكل منحنى النمو ، وقد تؤثر العوامل الخارجية فى معدل النمو ، ومن ثم تؤثر فى طول الزمن اللازم لتمام فترة النمو الكبرى ، إلا أن منحنى النمو يظل على الرغم من ذلك محتفظاً دائماً بشكله المميز (S) .

العوامل التى تؤثر فى النمو :

لمـــا كان النمو يمثل فى حقيقته محصلة عمليات التحول الغذائى وغيرها من العمليات المرتبطة بها ، فإن تأثره بشتى العوامل ما هو إلا محصلة لتأثير تلك

العوامل فى العمليات السابقة . فارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة الصغرى — أى الدرجة التى لا ينمو النبات دونها — يؤثر فى النمو بنفس الطريقة التى يؤثر بها فى البناء الضوئى والتنفس ، فيزيد معدل النمو عند بدء ارتفاعها (ويكون المعامل الحرارى أعلى عادة من ٢) ، ولكنه سرعان ما ينتج عن استمرار ارتفاع درجة الحرارة تأثيرات ضارة تعطل النمو . وعند درجة الحرارة القصوى وفوقها يقف النمو تماما .

ودرجات الحرارة المثلى للنمو الخضرى تختلف باختلاف النبات وبيئته . فتبلغ فى نباتات المناطق القطبية حوالى ١٠°م . بينما تتراوح من ٢٥°م — ٣٠°م بالنسبة لنباتات المناطق المعتدلة ، وتزيد عن ذلك فى نباتات المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية ، فتبلغ فى نبات الذرة مثلا من ٣٠° — ٣٥°م. كذلك تختلف الدرجة المثلى للنمو باختلاف مراحل تطور النبات ، ففى نبات الطماطم مثلا تصل هذه الدرجة إلى ٣٠°م فى مرحلة البادرة ثم تتناقص تدريجياً إلى ١٣ — ١٨°م (على حسب النوع) ببلوغ النبات مرحلة النضوج ، وتتطلب مرحلتا الإزهار والإثمار درجات حرارة تختلف عن تلك اللازمة للنمو الخضرى.

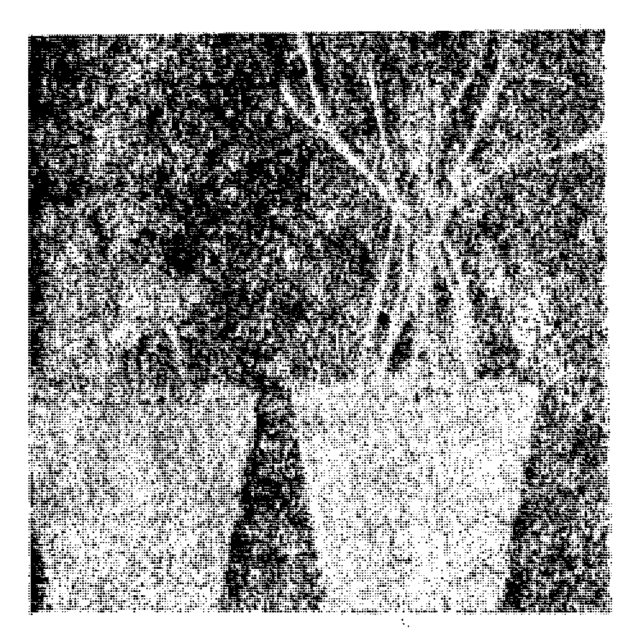
والتغيرات اليومية فى درجات الحرارة ذات تأثير هام فى نمو النبات ، فقد أوضح فنت (Went) — عام ١٩٤٤ — أن نمو نباتات الطماطم يكون أسرع تحت ظروف التغيرات اليومية منه فى درجات الحرارة الثابتة . وقد أطلق على هذه الظاهرة « التواقت الحرارى » (Thermoperiodicity) .

والضوء ضرورى لنمو النباتات ذاتية التغذية ، إذا أنه عامل أساسى فى البناء الضوئى . فلكى يبقى النبات حياً يجب أن تكون شدة الإضاءة كافية لكى يوازى البناء الضوئى الذى يحدث أثناء النهار ماتستهلكه عملية التنفس طوال الأربع وعشرين ساعة . وبديهى أن شدة الإضاءة الصغرى اللازمة لاستمرار النبات حياً يجب أن تزيد عن نقطة التوازن التى يتساوى عندها البناء الضوئى والتنفس أثناء النهار (راجع باب البناء الضوئى) . وتختلف شدة الإضاءة الصغرى فى النباتات المختلفة . فعلى حين تبلغ فى نباتات الظل ٢ — ٣ شمعة قدمية

فإنها تبلغ فى نباتات الشمس ٤٠٠ — ٥٠٠ شمعة قدمية ، وطبيعى أن درجات الإضاءة الصغرى التى تكفى لاحتفاظ النبات بحياته لا تكفى لنموه .

وبالإضافة إلى ذلك يبدو أن للضوء تأثيرا مباشراً على مراحل النمو المختلفة ويمكن دراسة ذلك بإنماء النباتات بعيدة عن الضوء على أن تزود بالمواد العضوية المختلفة ، وفى حالة البذور يكون نموها على حساب ما بها من غذاء مدخر . فإذا نبتت البادرات بعيدة عن الضوء فإنها تبدو بيضاء أو صفراء لخلوها من اليخضور وتكون سيقانها طويلة مغزلية الشكل تحمل أوراقاً صغيرة متهالكة (شكل ٣٨٢) ، ويعرف هذا النمو المميز للنباتات فى غياب الضوء « بالشحوب الظلامى » (Etiolation). ويعزى هذا النوع من النمو إلى زيادة طول الخلايا وكثرة انقساماتها عما يحدث فى النباتات المماثلة التى تنمو فى الضوء . ومعنى هذا أن الضوء يعطل هذا النمو المتزايد ، وقد يؤدى تعريض بعض النباتات لإضاءة شديدة إلى تقزمها . وظاهرة الشحوب الظلامى يمكن التغلب عليها بتعريض النباتات لشدة إضاءة ضئيلة جدا ، وعليه فإن الضوء اللازم لمنع حدوث هذه التغييرات الشكلية يقل كثيراً عن شدة الإضاءة الضرورية لإتمام البناء الضوئى بدرجة ملموسة .

(شكل ٣٨٢)



بادرات بازلاء (Pisum sativum) نامية فى الضوء (إلى اليسار) وفى الظلام (إلى اليمين)

أما بالنسبة لتأثير نوع الضوء فى النمو فقد وجد أن النمو الكلى للنبات يكون فى الطيف الكامل للضوء المنظور أفضل منه فى أى منطقة من مناطق هذا الطيف . ويقل النمو كثيراً فى منطقة الضوء الأخضر عنه فى كل من منطقتى الضوء البنفسجى الأزرق والأحمر البرتقالى . وتعزى ضآلة النمو فى الضوء الأخضر إلى تمدد الأوراق المحدود وإلى انخفاض كفاءة البناء الضوئى فى هذه المنطقة عنه فى أى منطقة أخرى من مناطق الطيف .

واستجابة النمو لمنطقة معينة من مناطق الطيف تختلف من عضو لآخر فى النبات . فاستطالة السيقان تكون أكبر ما يمكن فى الضوء البنفسجى الأزرق ثم تقل فى الضوء الأخضر ، والضوء الأحمر البرتقالى ، والطيف الكامل للضوء المنظور على التوالى . أما استجابة نمو الورقة لمناطق الضوء المختلفة فتختلف عن استجابة السيقان ، فانفراد نصل الأوراق يقل كثيراً فى الضوء الأخضر عنه فى الضوء الأحمر البرتقالى أو البنفسجى الأزرق ، ويصل انفراد الورقة أقصاه فى الطيف الكامل للضوء المنظور .

ويعتبر وجود الأكسيجين من العوامل الأساسية لنمو الكائنات الهوائية ، وترجع أهميته إلى الدور الذى يقوم به فى إطلاق الطاقة أثناء عملية التنفس ، وقد سبق أن ذكرنا أن جزءاً من هذه الطاقة يستخدم فى بناء المركبات المعقدة التى يتطلبها النمو .

ولما كان النمو يعتمد على امتلاء الخلايا بالماء ، فإن نقص الماء يؤدى دون شك إلى تعطيل النمو أو توقفه تماماً ، وعلى النقيض من ذلك قد تؤدى زيادة نسبة الماء إلى نوع غير عادى من النمو ، ففى جو مشبع مثلا يكون نمو الأوراق ضعيفاً وتتأخر مرحلة تميز الأنسجة ، ويعزى ذلك – دون شك – إلى تمدد الجدر الخلوية بدرجة كبيرة نتيجة لارتفاع ضغط الامتلاء ارتفاعاً غير عادى.

ويحتاج النبات النامى إلى قدر كاف من العناصر المعدنية الأساسية ، لكل منها دور معين فى حياة النبات ، وقد سبقت الإشارة إلى ذلك فى الباب السابع والثلاثين .

وبالإضافة إلى ما سبق من عوامل يتأثر النمو إلى حد كبير بمركبات عضوية معينة مثل الإنزيمات والفيتامينات والهرمونات التى توجد فى الخلايا بكميات ضئيلة جداً ، وسنتناول بالتفصيل طبيعة ووظيفة هذه المواد الأخيرة .

هرمونات النمو

استعمل لفظ « هرمون » (Hormone) فى بادىء الأمر للدلالة على مواد عضوية معينة ، تتكون فى عضو من جسم الحيوان وتنتقل مع الدم إلى عضو آخر حيث تسبب — عندما توجد بكميات ضئيلة — تأثيرات فسيولوجية معينة . فمثلا ، الأدرينالين (Adrenaline) يفرز فى جسم الحيوان بواسطة الغدة فوق الكلوية ولكنه يؤثر على القلب والجهاز الوعائى . وعلى ذلك فقد أصبح من خواص الهرمون أنه ينتقل من المكان الذى يتكون فيه إلى مكان آخر من جسم الكائن الحى . وقد استعمل النباتيون نفس اللفظ للدلالة على مواد ذات تأثير مماثل اكتشف وجودها فى النبات .

وقد تقدمت بعد ذلك دراسة الهرمونات ، وتمكن بعض الباحثين من استخلاص وتحديد الطبيعة الكيميائية لثلاث مجموعات منها ، هى «الأوكسينات» (Anxins) ، والجبريللينات (Gibberellins) والسيتوكينينـــات (Cytokinins) ويطلق عليها الثلاثة أحياناً منظمات النمو (Growth regulators) .

اكتشاف هرمونات النمو :

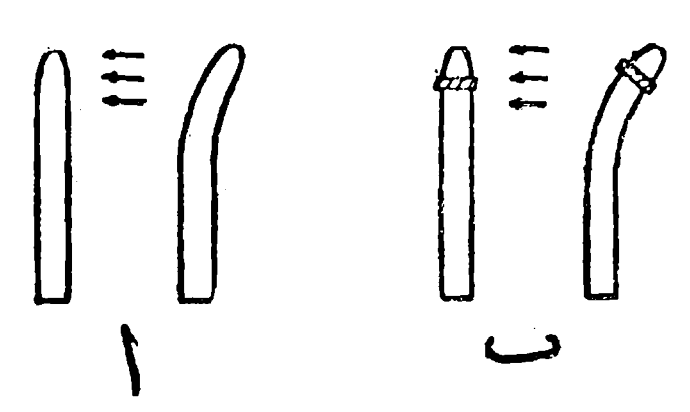
تعتبر البحوث التى قام بها بويسن ينسن (Boysen jensen) — عام ١٩١٠ — على الانتحاء الضوئى أول دليل مباشر على وجود الهرمونات النباتية . فقد وجد أن الغلاف الورقى (Coleoptile)

(شكل ٣٨٣)

الغلاف الورقى الشوفانى ، وهو مجوف أسطوانى الشكل تقريبا ، يغلف قمة الساق والأوراق الصغيرة .

لنبات الشوفان (Avena sativa) — شكل ٣٨٣ — يفقد قدرته على الانحناء ناحية الضوء إذا نزعت قمته (١ — ٢ مم من القمة) . ولكنه يستعيد هذه القدرة عند إعادة القمة المنزوعة إلى مكانها مباشرة أو عند تثبيتها فيه بالجيلاتين (شكل ٣٨٤) أما إذا فصلت القمة عن جذع الغلاف الورقى بصفيحة من الميكا فإنه لن يكون هناك أى انحناء ، لأن الباعث عليه توقف عن المرور .

(شكل ٣٨٤)



(ا) الضوء يسقط من جانب واحد على قمة الغلاف الورقى لأحد النجيليات ، فيسبب انحناءه تجاه مصدر الضوء (ب) جزء من تجربة بويسن التى نزع فيها قمة الغلاف الورقى ثم أعادها فى وجود قطعة رقيقة من الجيلاتين ، فلاحظ أن الانحناء الضوئى يحدث كالمعتاد .

وفى عام ١٩١٨ ، أيد بال (Paàl) ما وصل إليه بويسن ينسن ، وأضاف إلى ذلك أنه عند إعادة قمة الغلاف الورقى المنزوعة فى وضع غير مركزى (شكل ٣٨٥) زاد النمو فى الجانب الذى وضعت فوقه القمة ونتج عن ذلك ما يعرف بالانحناء السالب (Negative curvature) للغلاف الورقى . وقد أدت هذه النتائج وغيرها إلى افتراض وجود مادة النمو فى قمة الغلاف الورقى تهبط منها فى الظروف العادية على كل الجوانب فتسبب نمواً

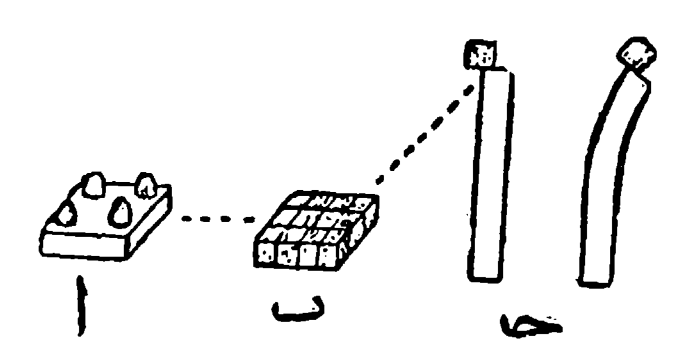
(شكل ٣٨٥)

تجربة بال : اذا وضعت قمة الغلاف الورقى المفصولة وضعا لامركزيا فانها تسبب انحناء سالبا .

منتظماً فى منطقة النمو ، أما إذا تأثر هبوط هذه المادة بطريقة ما — كالإضاءة من جانب واحـــد أو إعادة القمة المنزوعة إلى وضع غير مركزى — فإن النمو يكون غير منتظم ومن ثم يحدث الانحناء .

وقد أجرى فنت (Went) — عام ١٩٢٨ — عدداً من التجارب أوضح بوساطتها أنه إذا وضع عدد من قمم الأغلفة الورقية لبادرات الشوفان على طبقة رقيقة من الآجار لساعات قليلة فإن مادة النمو الموجودة بالقمم تنتشر إلى طبقة الآجار . والدليل على ذلك أنه إذا قطعت الأخيرة قطعاً متساوية فإن كل قطعة تصبح لها نفس القدرة التى كانت للقمة على تنشيط النمو . فتستطيع إذا وضعت وضعاً مركزياً على الغلاف المنزوعة قمته أن تعيد النمو إلى الغلاف الورقى ، أما إذا كان وضعها غير مركزى فإنها تسبب انحناء سالباً (شكل ٣٨٦) وقد وجد فنت أن هذا الانحناء يتناسب تناسباً طردياً إلى حد ما مع تركيز الهرمون فى قطعة الآجار ، وقد استخدمت هذه العلاقة فى التقدير الكمى لمواد النمو فى النبات .

(شكل ٣٨٦)



تجربة فنت : تنقل مادة النمو من قمم الأغلفة الورقية إلى الآجار فإذا وضعت قطعة من هذا الآجار وضعا لامركزيا على الطرف العلوى لغلاف ورقى نزعت قمته فإنها تسبب انحناء يتناسب — فى حدود معينة — تركيز مادة النمو الآجار .

وفى عام ١٩٣٠ أضاف دولك (Dolk) إلى ما سبق برهاناً آخر على أهمية الهرمونات للنمو . فقد وجد أن الأغلفة الورقية لا تتوقف عن النمو تماماً بعد نزع قمتها ولكنها تستمر فى النمو بمعدل أبطأ نتيجة لما يتبقى بها من هرمون .

وبعد ساعات قليلة من نزع القمة تتجدد عند سطح القطع « قمة فسيولوجية » (Physiological tip) يتكون فيها الهرمون ويستعيد النمو معـــدله الأصلى ، فإذا نزعت تلك القمة بعد ساعتين من نزع القمة الأولى فإن سرعة النمو تنخفض عملياً إلى الصفر ولكن إذا وضعت بعد ذلك قطعة من الآجار تحتوى على الهرمون فإن النمو يستأنف فوراً .

وقد أدت هذه البحوث المتتابعة وغيرها إلى الاعتقاد بوجود مواد خاصة تنشط النمو ، تتكون فى قمم الأغلفة الورقية للشوفان وغيره من نباتات الفصيلة النجيلية ثم تنتشر إلى مناطق النمو حيث تؤثر فى استطالة الخلايا . وقد حصل فنت على نتائج توضح دور هذه المواد فى الانتحاء الضوئى ، كما حدد بعض خواصها الطبيعية .

الأوكسينات

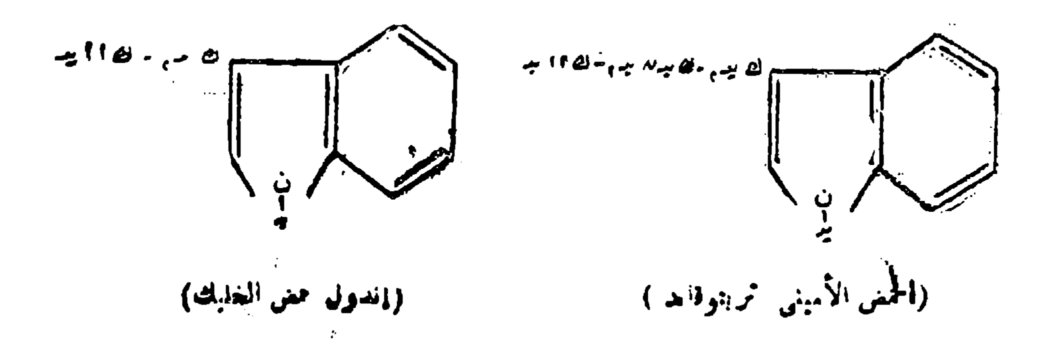
الخواص الكيميائية :

تمكن العالمان الكيميائيان كوجل وهاجن سميت (Kögl and Haagen Smit) — ١٩٣١ / ١٩٣٤ — من عزل ثلاثة مركبات ذات قدرة فائقة على تنشيط النمـــو ، أطلقا عليها الأسماء « أوكسين أ » (Auxin a) و « أكسين ب » (Auxin b) و « هتيروأوكسين » (Heteroauxin) وقد تم فصل المادة الأولى من بول الإنسان وتم فصل المادة الثانية من الشعير وزيت جنين الذرة ، أما الهتيروأوكسين فقد فصل من البول ومن فطرة الخميرة.

غير أن البحوث الأخيرة دلت على عدم وجود الأوكسينين أ ، ب ، فمنذ اكتشافهما لم يتمكن أحد من فصلهما ، وعلى العكس تمكن الكثير من الباحثين من فصل الهتيروأوكسين من كثير من الأنسجة النباتية بما فى ذلك الأغلفة الورقية للشوفان والكائنات الدقيقة كالبكتيريا والخميرة والفطريات الخيطية ، ولذا أصبح من المعتقد أنه هو الأوكسين الطبيعى فى النباتات .

والهتيروأوكسين حمض يحتوى على النيتروجين (ك١٠يد٩أ٢ ن) . وقد تبين من تركيبه الكيميائى أنه المادة المعروفة « ببيتا إندول حمض الخليك» (B - indole acetic acid) وهو سهل التحضير فى المعمل ، إذ يتكون من الحمض الأمينى « تربتوفان » بأكسدته ونزع مجموعة النوشادر منه ، وهى عملية يطلق عليها التأكسد اللاأمينى (Oxidative deamination) . ويتكون الهتيروأوكسين فى الخلايا النباتية من هذا الحمض الأمينى بمساعدة إنزيم خاص (إردمان وشيور Erdmann and Schiewer — عام ١٩٧١ ؛ وغيرهما) .

ويوضح التركيب الكيميائى لكلا المادتين مدى العلاقة بينهما .



(الحمض الأمينى تربتوفان) (إندول حمض الخليك)

ويستخدم فى تقدير الأوكسين طرق بيولوجية ، إذ أنه لا توجد اختبارات كيميائية دقيقة تفى بالغرض المطلوب . وأكثر الطرق المستخدمة دقة هى طريقة الاختبار الشوفانى (Avena test) التى اقترحها فنت عام ١٩٢٨ ، وأساسها إيجاد علاقة بين درجة انحناء الغلاف الورقى الشوفانى وكمية مادة النمو التى تحتويها قطعة من الآجار توضع على طرف الغلاف الورقى بعد نزع قمته .

توزيع الأوكسين وتكوينه فى النبات : الأوكسين واسع الانتشار فى النبات فمنذ اكتشف وجوده فى قمم الأغلفة الورقية للنجيليات والبحوث مستمرة على أنواع مختلفة من النباتات الدنيئة ، وقد أمكن إثبات وجود الأوكسين فيها جميعاً ، حتى ليمكن القول بأنه أحد المكونات الثابتة فى النباتات . ومن الجدير بالذكر أنه لا يوجد تخصص فى عمل هذه المواد ، بمعنى أن نفس التفاعل يحدث فى النباتات موضع الاختبار بغض النظر عن

مصدر الأوكسين ، والدليل على ذلك ما لاحظه نيلسين (Neilson) من أن مادة النمو التى استخلصها من فطرة الرايزوبس (Rhizopus) تستطيع زيادة النمو فى الأغلفة الورقية للشوفان .

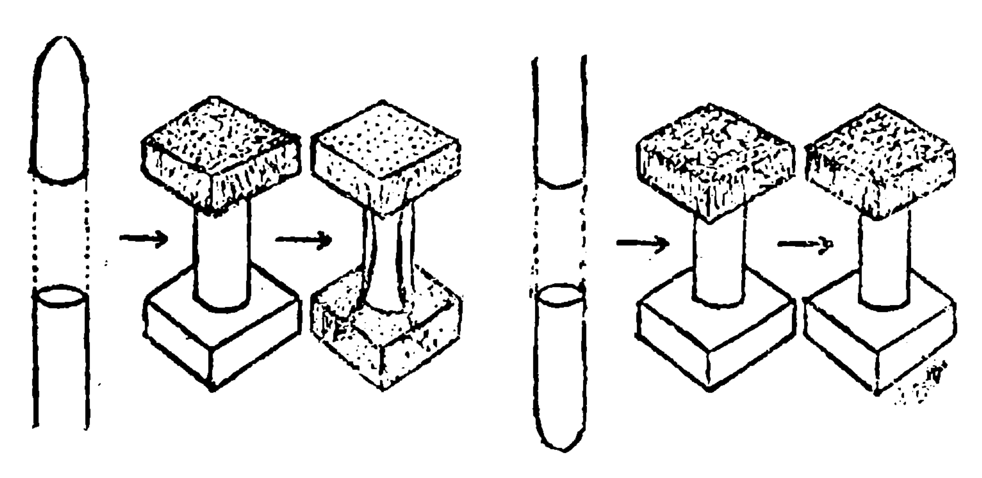
والمراكز الرئيسية لبناء الأوكسين فى النباتات الراقية هى الأنسجة الإنشائية القمية فى الأعضاء الهوائية مثل البراعم الطرفية والأوراق الصغيرة ؛ وبالإضافة إلى ذلك يتكون كميات صغيرة من الأوكسين فى القمة النامية للجذر ، ولو أن معظم ما يوجد منه فى الجذور يأتى إليها من الأعضاء الهوائية للنبات . والأكسين الذى يتم بناؤه فى أحد الأنسجة ينتقل عادة إلى غيره من أنسجة النبات ، الأمر الذى يؤدى إلى أن يتخذ توزيع الأوكسين نظاماً خاصاً . ففى كل من قمتى الساق والجذر يكون تركيزه عالياً ثم يتضاءل التركيز كلما بعدت المسافة عن القمتين . وقد وجد ثيمان (Thimann) أنه على الرغم من وجود الأوكسين فى كل أجزاء بادرة الشوفان النامية إلا أن تركيزه النسبى ينخفض من ٠,٦٩ فى قمة الغلاف الورقى إلى ٠,١٩ عند قاعدته ثم يرتفع ثانية إلى ٠,٤٣ فى قمة الجذر .

وفى كثير من البذور الكامنة تكون كمية الأوكسين ضئيلة جداً ، ولكنها تزداد بسرعة أثناء الإنبات . وتفسير ذلك أن معظم الأوكسين فى البذور غير المستنبتة يكون مرتبطاً بطريقة ما تجعله غير فعال ، ولكنه يتحول إلى صورته النشطة أثناء الإنبات . ويحدث هذا التحول فى الضوء أو الظلام ، والمعتقد أن أصل الأوكسين (Auxin Precursor) ينتقل من أنسجة التخزين إلى المناطق القمية حيث يتحرر الأوكسين ، ومن تلك الأماكن ينتقل إلى مناطق النمو فى الساق والجذر حيث يسبب تنشيط النمو فى أعضاء المجموع الخضرى وتثبيطه فى الجذر .

انتقال الأوكسين : لما كان الأوكسين المتكون فى الأنسجة القمية يؤثر أساساً فى غيرها من المناطق فقد أصبح إنتقال الأوكسين من الأهمية بحيث استأثر بكثير من الدراسة . ففى الظروف العادية يتحرك الأوكسين فى الأنسجة الحية فى اتجاه قطبى (Polar) دائماً ، أى فى اتجاه واحد من القمة المورفولوجية

إلى القاعدة المورفولوجية وليس العكس . والأدلة على تلك الحركة القطبية كثيرة . فنى عام ١٩٢٨ أوضح فنت (Went) أنه إذا ثبتت أسطوانة من الغلاف الورقى – فى وضع قائم – على قطعة من الآجار ، ثم وضعت قطعة أخرى من الآجار تحتوى على الأوكسين على الطرف العلوى – حسب الوضع المورفولوجى للأسطوانة – فإن الأوكسين ينتقل خلالها سريعاً ويتجمع فى قطعة الآجار السفلى . أما إذا قلبت أسطوانة الغلاف الورقى بحيث توضع قطعة الآجار المحتوية على الأوكسين فوق طرفها القاعدى – حسب الوضع المورفولوجى – فإن الأوكسين لا ينتقل خلالها مطلقاً ، ويوضح شكل (٣٨٧) ملخصاً لهـذه التجربة . وقد أجرى باير (Baeyer) – عام ١٩٢٧ – تجربة مماثلة ففصل قمة الغلاف الورقى ثم أتبعها بفصل جزء آخر أسفل منها مباشرة . وعندما أعاد الأجزاء المنزوعة إلى وضعها الطبيعى ، انتقل الأوكسين كعادته إلى أسفل خلال الجزء المنزوع وسبب انتحاء الجزء القاعدى من الغلاف الورقى ناحية الإضاءة الجانبية التى تعرضت لها القمة . وعلى العكس لم ينتقل الأوكسين عندما قلب وضع الأسطوانة التى تفصل قمة الغلاف الورقى عن قاعدته .

(شكل ٣٨٧)



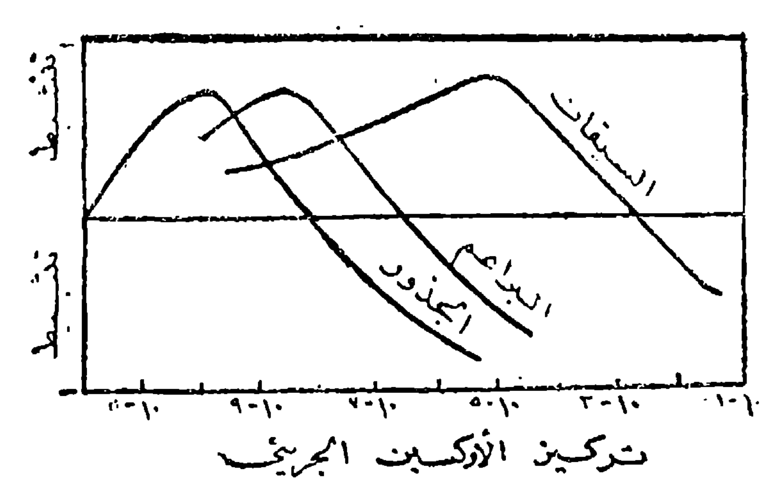
انتقال الأوكسينات : (ا) توضح الانتقال القطبى ، اى من القمة إلى القاعدة المورفولوجية . (ب) امتناع الأوكسين عن الانتقال عندما تقلب وضع اسطوانة الغلاف الورقى .

دور الأوكسين فى استطالة الخلايا : يقوم الأوكسين بدور فى استطالة خلايا كثيرة من الأعضاء النباتية مشابه للدور الذى سبقت الإشارة إليه بالنسبة لأغلفة الشوفان الورقية ويمكن القول على وجه الإجمال إن استطالة الخلايا لاتحدث إلا فى وجود الأوكسين ،وأنه كلما زاد تركيز الأوكسين زاد معدل الاستطالة ما لم يحدد العملية عامل آخر . ويختلف مدى التركيز الأمثل لاستطالة الخلايا اختلافاً كبيراً فى الأنسجة المختلفة ، وإذا زاد تركيز الأوكسين عن حد معين فإنه عادة يثبط هذه المرحلة من مراحل النمو .

وقد أوضح كولودنى (Cholodny) — عام ١٩٢٦ — أن نزع قمة الجذر فى بادرة الذرة أو الترمس يؤدى إلى زيادة معدل الاستطالة ، وإن كانت هذه الزيادة غير كبيرة . فإذا أعيدت القمة الجذرية إلى مكانها فإن معدل الاستطالة يتناقص إذا قورن بمعدلها فى الجذور المنزوعة قممها . وبالمثل ينخفض معدل الاستطالة فى قمة الجذر إذا وضعت قمة الغلاف الورقى لبادرة الذرة على جذر نفس النبات الذى نزعت قمته . تدل هذه النتائج على أن تركيز الأوكسين الذى تنتج عنه زيادة الاستطالة فى الأغلفة الورقية وغيرها من الأعضاء الهوائية يؤخر استطالة الجذور .

ويمكن تفسير ذلك التأثير المتعارض للأوكسين فى استطالة الجذور والأعضاء الهوائية بفرض أن الجذور والبراعم والسيقان تتجاوب كلها مع الأوكسين بطريقة متماثلة (شكل ٣٨٨) ، فيتأخر نموها بتركيزات الأوكسين العالية نسبياً وينشط بالتركيزات المنخفضة نسبياً . ولا يلائم استطالة الجذور إلا التركيزات الجد منخفضة ، إذ أن التركيزات العالية تعطلها تماماً . وتسلك السيقان والأغلفة الورقية مسلكاً مماثلا . إلاأن المدى الأمثل من التركيزات بالنسبة لاستطالتها يفوق كثيراً نظيره فى الجذور : فعلى حين يبلغ فى الجذور $١٠^{-١٠}$ جزيئى فإنه فى السيقان يصل إلى $١٠^{-٥}$ جزيئى . ومعنى هذا أن تركيزات الأوكسين التى من شأنها أن تنشط استطالة الساق تؤدى هى بذاتها إلى تثبيط الاستطالة فى الجذر . أما البراعم فتحتل مركزاً وسطاً بين السيقان والجذور من حيث تأثير التركيزات الأوكسينية المختلفة على نموها .

(شكل ٣٨٨)



تنشيط النمو وتثبيطه فى الأعضاء المختلفة تبعا لتركيز الأوكسين
عن تيمان ١٩٣٧) .

آلية عمل الأوكسين :

يرى سودنج (Söding) وهين (Heyn) أن فعل الأوكسين فى استطالة خلايا الأغلفة الورقية — وما يشابهها من الأنسجة النباتية — يأتى من تأثيرها فى الجدار الخلوى الابتدائى . وذلك بزيادة لدونته (Plasticity) أى تمدده غير العكسى ، فقد وجد سودنج أنه إذا عوملت الأغلفة الورقية الكاملة بأثقال صغيرة ، فإنها تستطيع أن تتمدد وتنحنى بدرجة أكبر من الأغلفة المنزوعة قممها . على أن انحناء هذه الأغلفة الأخيرة يأخذ فى الازدياد بعد ثلاث ساعات وذلك لاستئناف تكوين الأوكسين فى القمم الفسيولوجية الجديدة . كذلك أوضح هين أن الأغلفة الورقية التى فصلت قممها وغطيت بقطع من الآجار تستطيع — إذا كانت قطع الآجار تحتوى على الأوكسين — أن تتمدد وتنحنى بدرجة أكبر مما لو كانت قطع الآجار خالية من الأوكسين .

وينتج عن التمدد غير العكسى للجدار الخلوى انخفاض ضغطه ، الأمر الذى يؤدى إلى زيادة قوة الامتصاص الأزموزية فيدخل الماء إلى الخلية ويأخذ حجمها فى الازدياد ، وذلك حتى يعود التوازن بين ضغط الجدار والضغط الأزموزى . ويتبع مرحلة التمدد فى عملية الاستطالة ترسيب مادة جدارية جديدة بطريقة التداخل (Intussusception) .

ويبدو أن للأوكسين دور مزدوج فى الجدار الخلوى ، فهو يؤدى إلى تليينه (Softening) ومن ثم إلى زيادة لدونته ، كما يؤدى إلى إضافة مواد جديدة إليه . وهذان التأثيران يعزيان إلى زيادة نشاط الإنزيمات المحللة لبعض مكونات الجدار الخلوى والإنزيمات المكونة لبعض مركباته على التوالى .

دور الأوكسين فى الانتحاءات :

الانتحاء الضوئى : لا يقتصر تأثير الأوكسين فى النبات على تنظيمه للنمو فحسب ، بل يستجيب بوساطته النبات لبعض المؤثرات الخارجية ، ومن أمثلة ذلك تجاوب نمو النبات للضوء الذى يأتيه من جانب واحد ، ويطلق على هذا التجاوب « اسم الانتحاء الضوئى » (Phototropism) ، والانتحاء الضوئى موجب فى السيقان والسويقات تحت الفلقية والأغلفة الورقية وغيرها من الأعضاء النباتية التى تتجه ناحية مصادر الضوء أو ناحية الإضاءة الأقوى إذا كانت هناك قوى ضوئية مختلفة تأتى من مختلف الاتجاهات . أما الجذور — فعلى العكس — تنمو بعيداً عن الضوء ، وتعرف الاستجابة فى هذه الحالة بالانتحاء الضوئى السالب .

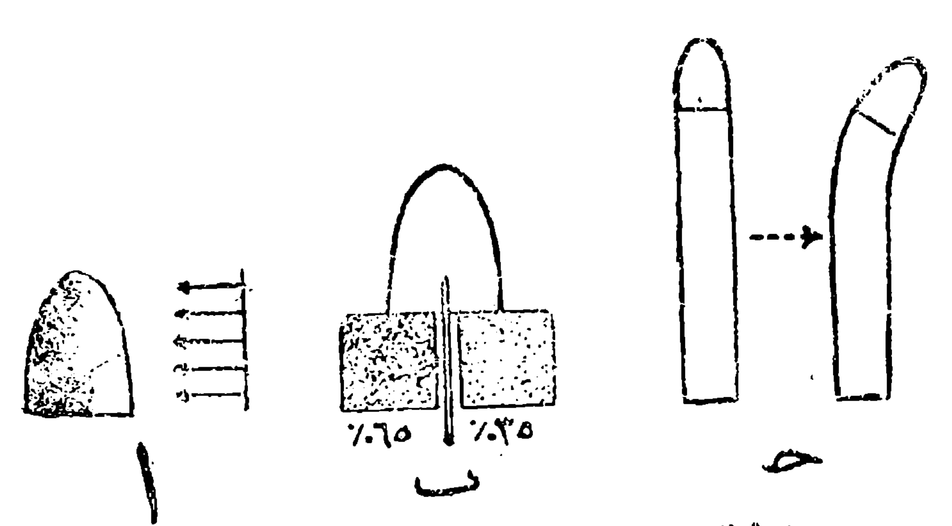
وتعزى الاستجابة الموجبة للضوء فى أغلفة الشوفان الورقية — وكثير من الأنسجة النباتية الأخرى — إلى اختلاف معدل نمو الجانبين المضاء وغير المضاء نتيجة للتوزيع غير المتماثل للأوكسين ، إذ تتجمع فى الجانب غير المضاء للعضو نسبة من الأوكسين تزيد على نسبته فى الجانب المواجه لمصدر الضوء . وعلى ذلك يكون النمو فى الجانب المظلم أسرع منه فى الجانب المضاء . ومن ثم تنحنى الأغلفة الورقية أو ما شابهها من الأنسجة ناحية الضوء .

ويبدو أن التوزيع غير المتماثل للأوكسين فى أغلفة الشوفان ينتج أساساً من هجرة مادة النمو من الجانب المضاء للقمة الغلافية إلى جانبها المظلم . ويمكن أن يستمد الدليل على ذلك من تجربة قام بها فنت (Went) عام ١٩٢٨ .

فقد عرض غلاف بادرة الشوفان من جانب واحد لإضاءة مناسبة ، ثم فصل القمة ووضعها على قطعتين من الآجار بينهما صفيحة معدنية « شفرة حلاقة » بحيث ينتشر الأوكسين من الجانب المضاء فى إحدى القطعتين ، وينتشر من من الجانب المظلم فى القطعة الأخرى (شكل ٣٨٩ ب) ثم اختبر المحتوى الأوكسينى لقطعة الآجار بطريقة الاختبار الشوفانى (٣٨٩ جـ) فدلت الانحرافات الناتجة على أن كمية أكبر من الأوكسين قد انتشرت من النصف المظلم لقمة الغلاف الشوفانى من تلك التى انتشرت من النصف المضاء . كذلك لاحظ فنت أن كمية الأوكسين التى تجمعت فى قطعة الآجار من النصف المظلم تفوق كمية المتجمع منه من نصف قمة غير مضاءة . ولذلك فقد خلص من نتائج هذه التجربة إلى أن الإضاءة من جانب واحد تؤدى إلى هجرة بعض الأكسين من جانب القمة الشوفانية المضاء إلى جانبها المظلم .

ويرى كثير من العلماء أن الضوء قد يؤدى إلى إتلاف بعض الأكسين ، كذلك يعتقد بعض الباحثين أن ضعف النمو فى الجانب المضاء إنما يرجع إلى

(شكل ٣٨٩)



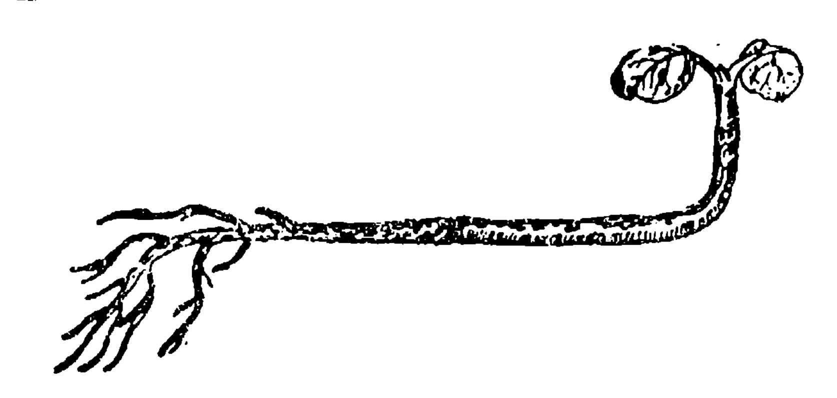
تعريض قمة الغلاف الورقى للضوء الجانبى : (ا) يؤدى الى عدم تماثل توزيع الأكسين كما يظهر من انتشاره فى الآجار (ب) ، مثل هذه القمة تسبب انحناء جذع غلاف ورقى لم يعرض للضوء كما فى (جـ) . (عن فنت وتيمان ، ١٩٣٧) .

نقص حساسية الأنسجة للأوكسين فى الضوء عنها فى الظلام . إلا أن البحوث الحديثة تميل إلى تأييد نظرية فنت التى سبقت الإشارة إليها (ثيمان ١٩٦٤) .

الانتحاء الأرضى :

الانتحاء الأرضى (Geotropism) هو استجابة النبات النامى لمؤثر خارجى هو الجاذبية الأرضية فتنتحى الأعضاء تجاهها أو بعيداً عنها . فإذا وضع نبات نام فى وضع أفقى لمدة من الزمن فإن ساقه لا تستمر موازية لسطح الأرض بل تنحنى إلى أعلى بعيداً عن اتجاه الجاذبية الأرضية ، ويبدأ هذا التحول فى الاتجاه فى منطقة الاستطالة التى تلى القمة مباشرة ثم لا يلبث أن يمتد إلى الأجزاء المسنة من الساق . وعلى العكس ، تتمثل استجابة الجذر للجاذبية الأرضية فى نموه إلى أسفل فى اتجاه مضاد للساق ، وعلى ذلك فالسيقان والسويقات سالبة الانتحاء الأرضى ، أما الجذور فموجبة الانتحاء الأرضى (شكل ٣٩٠) .

(شكل ٣٩٠)

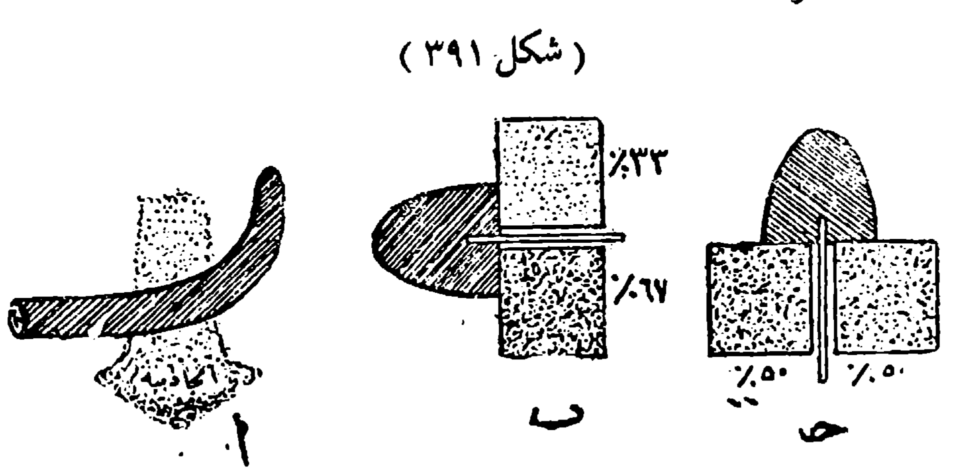


يوضح الانتحاء الأرضى الموجب فى الجذر والسالب فى الساق

ويؤخذ من نتائج بحوث عدة ، أن الانتحاء الأرضى — مثل الانتحاء الضوئى — يرجع إلى التوزيع غير المتماثل للأوكسين فى الأعضاء النباتية ، وقد ساهمت تجارب هرمان دولك (Herman Dolk) — عام ١٩٢٩ — على وجه الخصوص فى تبين حقيقة هذا الموضوع . فقد أوضح دولك أن كمية الأوكسين الكلية الموجودة فى قمم أغلفة الشوفان الورقية لا تتغير بتغير وضعها

من الاتجاه الرأسى إلى الاتجاه الأفقى ، ولكنه عندما استعمل طريقة الانتشار فى الآجار — التى استعملها فنت عام ١٩٢٨ — ظهر أن توزيع الأوكسين يختلف اختلافاً كبيراً . فنى القمم الرأسية انتشرت كميتان متساويتان من الأوكسين من نصفى كل قمة ، أما فى القمم الأفقية فقد انتشرت من النصف السفلى كمية أكبر من الأوكسين (شكل ٣٩١) ، وقد قدر ما تجمع من الأوكسين من النصف السفلى بثلثى الأوكسين الكلى ، وما تجمع من النصف العلوى بالثلث فقط (٦٧ ٪ ، ٣٣ ٪ على التوالى) . وكما فى الانتحاء الضوئى يؤدى عدم تماثل توزيع الأوكسين إلى أن يكون النمو غير متساو على جانبى الغلاف الشوفانى .

(شكل ٣٩١)



يوضح الشكل :ن الانتحاء الارضى نتيجة لعدم تماثل الإكسين و النبات ، وذلك بتأثير الجاذبية : (ا) إذا وضع الغلاف الورقى فى وضع افقى فانه ينتخى الى اعلى ، اب) انتشار الاوكسين من قمة وضعت افقيا الى الآجار ، ويلاحظ ان ٦٧ ٪ من الاوكسين الكلى قد تجمع من الجـانب السفلى ، ا حـ) انتشار الاوكسين من قمة راسية . ويلاحظ نماثل الكمية المنتشرة من نصفيها .

ولما كانت تركيزات الأوكسين التى تساعد الاستطالة فى السيقان والأغلفة الورقية تعطل الاستطالة فى الجذور ، فإن الانتحاء الأرضى الموجب فى الجذور قد ينشأ عن نفس الآلية التى تؤدى إلى الانتحاء الأرضى السالب فى السيقان والأغلفة الورقية . فعند وضع السيقان والجذور فى وضع أفقى ينتقل الأوكسين

بفعل الجاذبية من الجانب العلوى إلى الجانب السفلى . وينشأ عن زيادة تركيز الأوكسين فى الجانب السفلى تنشيط النمو فى هذا الجانب من الساق وتثبيطه فى الجذر ، الأمر الذى يؤدى إلى أن تتجه السيقان فى نموها إلى أعلى وتتجه الجذور إلى أسفل .

ويمكن إثبات تأثير الجاذبية فى اتجاه نمو نبات موضوع فى وضع أفقى باستخدام جهاز الكلينوستات (Klinostat) . ويتركب هذا الجهاز من قرص فلينى . يتحرك ببطء حول محور أفقى بواسطة جهاز ساعة . فإذا ثبتت النباتات فى قرص الكلينوستات بحيث يكون العضو المراد اختباره فى وضع أفقى ، فإن النمو يستمر دون أن يحدث انتحاء أرضى ، وذلك بسبب تعادل الجاذبية على جوانب العضو النباتى المتقابلة نتيجة لدوران قرص الجهاز ، أى أن تأثير الجاذبية الذى يظهر عندما يكون الجهاز متوقفاً يتعادل عند دورانه .

بعض التأثيرات الأخرى للأوكسين فى النبات :

يؤدى الأوكسين ــ بالإضافة إلى دوره فى استطالة الخلايا ــ أدواراً أخرى فى عدد من ظواهر النمو الهامة ، ومن أهم هذه الظواهر ما يأتى :

١ ــ تكوين الثمار اللابذرية .

٢ ــ تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية .

٣ ــ تنشيط النمو الكامبيومى وغيره من أوجه النشاط المرستيمى .

٤ ــ تعطيل نمو البراعم الجانبية .

٥ ــ استئصال الأعشاب من المزارع .

تكوين الثمار اللابذرية : من الظواهر المألوفة تكوين ثمار لابذرية مثل البرتقال أبو سرة والعنب البناتى والموز وغيرها . وتتكون الثمار اللابذرية فى الطبيعة من أزهار غير ملقحة ، وإذا حدث التلقيح فإنه يكون عديم الأثر فى الإخصاب وتكوين البذور .

وقد نجح جوستافسون (Gustafson) ، ١٩٣٦ - ١٩٤٢ ، وأخرون فى إنتاج ثمار لابذرية صناعياً ، وذلك بمعاملة ميسم الزهرة أو مبيضها بمعاجين أوكسينية . فإذا خلطت بعض المواد مثل إندول حمض البيوتريك أو إندول حمض الخليك أو فينايل حمض الخليك مع اللانولين ثم استعمل المخلوط كطلاء لقلم الزهرة فإنه يؤدى إلى تكوين ثمار ناضجة خالية من البذور فى الطماطم والبيتونيا والفلفل .

ويرى جوستافسون أنه عند تكوين الثمار البذرية يكون نمو المبيض عقب الإخصاب ناتجاً من دخول قدر كاف من الأوكسين عن طريق أنابيب اللقاح أما بالنسبة لتكوين الثمار اللابذرية فى الطبيعة ، فيعتقد جوستافسون أن ذلك راجع لتأثير الأوكسين الموجود فى مبايض أزهارها بكمية كبيرة تفوق تلك التى توجد فى الأنواع التى تتطلب الإخصاب كشرط أساسى لنمو ثمارها .

تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية :

لاحظ فان ديرليك (Van derlik) - عام ١٩٢٥ - أن وجود البراعم على العقل ينشط تكوين الجذور إذا زرعت فى الوسط الملائم ، وقد عزى هذا التأثير إلى الأوكسين الذى يتكون فى البراعم ثم ينتقل إلى الجزء القاعدى من العقلة خلال اللحاء . ووجد فنت (Went) عام ١٩٢٩ أن الأوراق تشبه البراعم فى تنشيطها لتكوين الجذور ، فإذا لم تكن العقل تحمل براعم أو أوراقاً فإنه يتكون عدد قليل من الجذور أو لا تتكون جذور على الإطلاق .

وقد ثبت أخيراً أن مستخلص الأوراق والفطريات وكذلك البول وحبوب اللقاح تنشط تكوين الجذور ، وأوضح ثيمان وفنت (Thimann and Went) عام ١٩٣٤ أن المادة المنشطة لتكوين الجذور فى هذه المستخلصات تشبه الهتيروأوكسين . ومما هو معروف الآن أن الهتيروأوكسين يسبب تكوين الجذور كما أن عدداً من الأوكسينات المحضرة مثل إندول حمض البيوتريك وإندول حمض البروبيونيك وألفا نافثالين حمض الخليك لها تأثير مماثل .

وتستعمل هذه المركبات الكيميائية بطريقة عملية وعلى نطاق واسع فى المشاتل والحدائق لزيادة التكوين الجذرى فى العقل التى يكون تكوين الجذور فيها بالطرق العادية بطيئاً أو معدوماً .

الأوكسين والنشاط المرستيمى : إذا عومل سطح القطع لساق نبات – مثل عباد الشمس – بتركيز مرتفع من إندول حمض الخليك فى صورة معجون ، فإن انتفاخات ورمية كبيرة أو كالوسات (Calluses) قد تظهر فى مكان المعاملة أو بالقرب منه . وقد دل الفحص التشريحى لهذه الانتفاخات على أنها ليست نتيجة لاستطالة الخلايا التى كانت موجودة فحسب بل نتيجة تكوين خلايا جديدة أيضاً ، وتتميز تلك الانتفاخات باختلاف توزيع الأنسجة الوعائية فيها ، فهى لا توجد مرتبة كما هو الحال فى الساق الأصلية بل توجد فى محيطات غير منتظمة .

وتوجد فى الطبيعة انتفاخات أو كالوسات كثيرة تشبه فى مظهرها تلك الانتفاخات التى تكونت بتأثير الأوكسين . ومن أمثلة ذلك الانتفاخات الورمية التى تظهر على أنواع مختلفة من النباتات نتيجة للإصابة ببكتيرة مرض التورم القمى المعروفة علمياً باسم أجروباكتيريام تيوميفيسيانز **(Agrobacterium tumefaciens)** .فإذا أصابت هذه البكتيرة أنسجة نبات ما ظهرت حالة تعرف بالتورم القمى (Crown - gall) ومن أعراضها تكوين انتفاخات ورمية كثيرة على الساق والجذر ، وتعزى هـــذه الانتفاخات دون شك إلى الأوكسين المتكون فى أنسجتها .

وبالإضافة إلى عمل الأوكسين فى تكوين الانتفاخات الورمية فإنه يؤثر فى النشاط المرستيمى للخلايا الأخرى التى تشترك فى تكوين هذه الانتفاخات. فالأوكسين الذى يتكون فى البرعم الطرفى يستحث النشاط الكامبيومى وينظمه فى النباتات الخشبية ، ومن المحتمل أن يكون استئناف النمو الكامبيومى فى الربيع راجعاً إلى الأوكسين الذى يتكون فى البراعم فى ذلك الفصل ، وقد يكون من الممكن استحثاث النشاط الكامبيومى باستخدام الأوكسين صناعياً . فقد

أوضح سنو (Snow) — عام ١٩٣٥ — أن وضع قطعة من الآجار المحتوية على الأوكسين مكان قمة الساق المنزوعة فى بادرة عباد الشمس يؤدى إلى بدء النشاط المرستيمى العادى فى الكامبيوم .

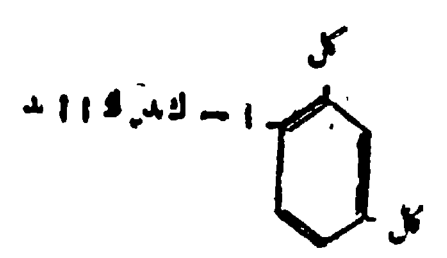
تعطيل نمو البراعم : مما هو معروف أن البراعم الجانبية فى معظم النباتات تبقى كامنة طالما كان نشاط البرعم الطرفى قائماً . فإذا ما استؤصل البرعم الطرفى فإن برعما أو أكثر من البراعم الإبطية يبدأ فى النمو . والبرعم الجانبى الذى ينمو يقوم بدور البرعم الطرفى ، بمعنى أنه يوقف نمو البراعم الجانبية التى على محوره ، وتعرف هذه الظاهرة بالسيادة القمية (Apical dominance) :

وقد أثبت ثيمان وسكوج (Thimann and Skoog) — فى عامى ١٩٣٣ و ١٩٣٤ — أن الأوكسين الذى يتكون فى البرعم الطرفى وينتقل إلى أسفل خلال الساق هو المسئول عن تعطيل نمو البراعم الجانبية . فاذا أزيل البرعم الطرفى بدأت البراعم الإبطية فى النمو وأصبحت لها القدرة على تكوين الأوكسين ، والدليل على ذلك أنه عندما فصل البرعم الطرفى ووضعت مكانة قطعة من الآجار — تحتوى الأوكسين — ظلت البراعم الجانبية ساكنة تماماً كما يحدث فى النباتات التى لم تستأصل براعمها الطرفية .

وقد عزى ثيمان (١٩٣٧) تثبيط نمو البراعم الجانبية بتركيزات من الأوكسين تقل كثيراً عن التركيزات الموجودة فى البرعم الطرفى وتسبب نموه إلى زيادة حساسية البراعم الجانبية عن السيقان للأوكسين ، فالتركيزات التى تنشط نمو السيقان تعطل نمو البراعم الجانبية .

الأوكسينات كمبيدات عشبية : تستعمل الأوكسينات فى الوقت الحاضر على نطاق واسع فى مقاومة الأعشاب ويعتمد هذا الاستعمال على أن بعض المواد الكيميائية المحضرة — التى لها نشاط أوكسينى عندما توجد بتركيزات جد منخفضة — تصبح سامة جداً للكثير من النباتات إذا استعملت بتركيزات عالية نسبياً . وقد ثبت أن أحماض فينوكسى الخليك (Penoxyacetic acids)

على وجه الخصوص ذات أثر فعال فى مقاومة الأعشاب . وأكثر مواد هذه المجموعة استعمالا هو حمض ٢ ، ٤ – دايكلورو فينوكسى الخليك (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) ، وشهرته ٢،٤ – د (2,4 D) ، وتركيبه الكيميائى كما يلى :



ويمكن أن يؤخذ تأثير مركب « ٢ ، ٤ – د » فى النباتات كمثل لعمل المبيدات الهرمونية ، فهو يدخل الأوراق بسهولة إذا رش به النبات أوأستعمل كمادة تعفير ، ثم ينتقل بسرعة إلى أجزاء النبات الأخرى ، ويؤثر على وجه الخصوص فى الأنسجة المرستيمية . والسرعة التى يتم بها انتشار هذا المركب خلال النبات تساهم إلى حد كبير فى تأثيره السام .

وتتفاوت النباتات المختلفة فى مدى استجابتها لتأثير مركب « ٢،٤-د» فنباتات الحبوب ومعظم النجيليات الأخرى أقل تأثرا به من النباتات ذات الأوراق العريضة ، كما أن النباتات الخشبية أكثر مقاومة لتأثيره من معظم الأنواع العشبية . وهذا التأثير الانتخابى هو أحد مميزات هذا المركب وكثير غيره من المبيدات العشبية ، فالأعشاب ذوات الأوراق العريضة التى تنمو فى حقول محاصيل الحبوب يمكن أن تستاصل عند رشها بتركيزات مناسبة من أحد المبيدات العشبية الهرمونية .

الجبرلينات

توجد بالإضافة إلى الأكسينات مواد نمو أخرى تماثلها فى بعض نواحى نشاطها الفسيولوجى ، إلا أنها تختلف عنها كيميائياً . وقد أطلق على هذه المواد الجبرلينات ((Gibberellins)) ، وهى تتميز بقدرتها على زيادة استطالة السيقان عندما تعامل بها نباتات معينة تتصف بالتقزم الوراثى .

وقد اكتشف اليابانيون الجبريللينات كمجموعة من مواد النمو تكونها الفطرة الممرضة لنبـــات الأرز (Gibberilla fujikuroi) . وأهم أعراض مرض الأرز هو النمو المتزايد للنباتات المصابة مع الاستطالة الملحوظة للسلاميات ، وعندما تكون الإصابة خفيفة فإن أعراض المرض تماثل أعراض النباتات التى تعانى من الشحوب الظلامى .

وتوصف الجبريللينات كيميائياً بإنها تحتوى تركيب الجيبين (Gibbane structure) الذى يتكون من حلقتـــين سداسيتين وحلقتين خماسيتين . وفيما يلى تركيب اثنين من الجبريللينات هما حمض الجبريلليك (GA_3) والجبريللين ا١ (GA_1) .

الجبريللين ا١
(GA_1)

حمض الجبريلليك
(GA_3)

وعلى عكس الهرمونات التى يوجد منها واحد فقط فإنه توجد أربع وثلاثون جبريللينا (كومب — Coombe — ١٩٧١) ليست كلها ذات نشاط هرمونى ، وأكثرها شيوعا هو حمض الجبريلليك (GA_3). وتنتمى الجبريللينات إلى التربينات الثنائية (Diterpenes) — ك٢٠يد٣٩ — وربما تكونت منها .

وتوجد الجبريللينات بتركيزات عالية فى البذور إذ تصل إلى ٤٧٠ ميكروجرام لكل جرام من الوزن الرطب للإندوسبرم ، وتقل عن ذلك كثيراً فى الأجزاء الخضرية ، وبوجه عام تكون الجبريللينات أعلى تركيزا فى المناطق سريعة النمو . والجبريللينات — على عكس الأوكسين — غير قطبية فى انتقالها ، فهى تنتقل فى الاتجاهين . وكان المعتقد أنها تتكون فى الجذور ، إلا

أن البحوث الحديثة دلت على أنها تتكون فى المجموع الخضرى وليس الجذر إلا مكان لتحولاتها .

وتشبه الجبريللينات الأوكسينات فى بعض التأثيرات الفسيولوجية مثل استطالة خلايا السيقان وتكوين الثمار اللابذرية ، إلا أنها تنفرد بتنشيطها للإنبات وإزالة الكمون فى البذور ، كما أنها تنشط نمو النبات الكامل وخاصة الأنواع القزمية وكذلك أوراق النباتات ذوات الفلقة الواحدة . ويعتقد أنها تسهم فى ظاهرة السيادة القمية وتزيد العمر التخزينى للثمار . .

وتعزى تأثيرات الجبريللينات إلى تحكمها فى النشاط الانزيمى وتنشيطها لعمليات الأيض مثل زيادة الكربوإيدراتات الذائبة (نظراً لتنشيطها لإنزيم ألفا أميليز) وزيادة بناء البروتين التى تؤدى إلى زيادة بناء الجدار الخلوى ، وهناك من الأدلة ما يؤيد أن تنظيمها للنمو يرجع إلى تنشيطها لتكوين الأحماض النووية .

السيتوكينينات

توجد بالإضافة إلى الأوكسينات والجبريللينات مواد نمو أخرى إلا أن تركيبها الكيميائى ودورها الفسيولوجى أقل وضوحاً . فقد حصل سكوج (Skoog) ومرافقوه — ١٩٦٥ — من تحضيرات حمض ديأوكسى ريبونيوكلييك القديمة أو المعقمة على مادة ذات وزن جزئى منخفض أسماها الكينتين (Kinetin) وهى عبارة عن ٦ — فورفورايل أدينين (6-furfuryl adenine) كما أطلق على المجموعة السيتوكينينات (Cytokinins) .

والسيتوكينينات مجموعة من البيورينات المبدلة (6-substituted purines) تنشط الانقسام الخلوى فى أنواع معينة من التحضيرات النسيجية مثل نسيج الكالوس فى نبات الطباق وذلك فى وجود مستوى مناسب من إندول حمض الخليك . ورغم أنه أصبح من المحقق أن مستخلصات الكثير من الأنسجة النباتية ذات نشاط سيتوكينينى ، إلا أن واحد منها فقط هو الزياتين (Zeatin) قد أمكن التعرف عليه كيميائياً . وفيما يلى تركيب الكينتين والزياتين .

الكينتين
(Kinetin)

الزياتين
(Zeatin)

وقد دلت البحوث الكثيرة (رادين ولومس – Radin and Loomis ١٩٧١) على أن بناء السيتوكينينات يتم فى القمم النامية للجذور ثم تنتقل منها إلى المجموع الخضرى حيث تنظم النمو ، كما هو الحال فى الحبوب على سبيل المثال . وتحتوى إفرازات الجذور (الأرز) ، كما يحتوى مستخلص بعض الجذور (الفجل) ، على نشاط سيتوكينيني .

وكما يؤثر الأوكسين والجبريللينات فى الانقسام الخلوى وزيادة الخلايا فى الحجم فإن الكينتين والمواد المشابهة تستحث فيما يبدو ذلك أيضاً . ومن المحتمل أن هذه المواد تعمل متعاونة مع الأوكسين والجبريللينات فى التحكم فى تميز (Differentiation) النباتات . وهناك من الأدلة ما يؤيد دخول الزياتين فى تكوين النيوكليوتيدات (ميلر – Miller – ١٩٦٥) .

وقد أوضح رايت (Wright) – من دراسته للمراحل المتتابعة لنمو الغلاف الورقى لنبات القمح فى وجود حمض الجبريلليك والكينتين وإندول حمض الخليك – أن هناك تركيزاً أمثل من منظمات النمو الثلاثة يختلف باختلاف مراحل النمو الخلوى . ويدل تفاعل مواد النمو مع بعضها البعض وفى وجود مواد غذائية مختلفة أنها ذات تأثير متعاون فى نمو الخلايا النباتية وتميزها .

الباب الأربعون

الإزهار

تلى مرحلة النمو الخضرى فى النبات مرحلة التكاثر التى تتضمن تكوين الأزهار والثمار وتنتهى دورة حياة النبات . ومن المعروف أن الانتقال من الحالة الخضرية إلى مرحلة التكاثر يرتبط بالتركيب الوراثى للنبات . فالعوامل الوراثية تحدد الوقت والمكان اللذين تظهر فيهما البراعم الزهرية على النبات . غير أنه من الممكن — فى الظروف غير الملائمة — ألا تعمل هذه العوامل على الانتقال من الطور الخضرى إلى طور الإزهار . فالنباتات لاتوجد دائماً فى ظروف تلائم استمرار نموها بل تتعرض أحيانا لأحوال جوية تسبب تعطيل النمو كلياً أو جزئياً . وعلى ذلك فتعمد حياة النباتات — فى منطقة من المناطق — على قدرتها على موائمة نموها فى المراحل المختلفة للظروف الجوية السائدة فى مختلف الفصول . ومن ثم فلا غرابة فى أن تكون هناك فى النباتات آليات تخضع فى تطورها لتأثير الظروف الجوية . وقد كان كلبس (Klebs) أول من بذل عناية خاصة فى دراسة تأثير الظروف الجوية من ناحيتى طول النهار ودرجة الحرارة فى نمو النبات وتطوره . فقد لاحظ أن النبات قبل الإزهار لابد أن يصل إلى درجة معينة من النمو الخضرى . وقد يتم الإزهار فى بعض النباتات بعد بلوغها هذه المرحلة من النمو بغض النظر عن تغير العوامل الخارجية غير أن بعضها الآخر يتطلب معاملة خاصة قبل الوصول إلى هذه المرحلة أو بعدها .

وقد ساعدت آراء كلبس على تفهم استجابة طور الإزهار فى النباتات لدرجة الحرارة المنخفضة ولطول النهار ، وهى الاستجابات التى تعرف الآن « بالارتباع » (Vernalization) و « بالتواقت الضوئى (Photoperiodism) على التوالى .

الارتباع

أدت بعض المشاهدات إلى الاعتقاد بأن تغير درجة الحرارة فى مرحلة مبكرة من نمو نبات مزهر قد تؤثر فى تكوين أعضائه التكاثرية . ففى عام ١٩٢٩ ، وجد ميلر (Miller) أن نباتات الكرنب تزهر فى وقت مبكر إذا عرضت لدرجة حرارة الشتاء العادية عما إذا حفظت فى مكان دافىء . كذلك فإن القمح الشتوى الذى يزرع فى الخريف يزهر مبكراً فى الصيف التالى ، ولكنه إذا زرع فى الربيع فإنه قد لايزهر على الإطلاق فى الفصل الذى يليه . ومما يذكر أنه منذ سنين طويلة — حوالى عام ١٨٥٨ — أمكن تحويل القمح الشتوى إلى قمح يمكن أن يزرع فى الربيع ويعطى محصولا عاديا ، وذلك باستنباته فى درجات حرارة منخفضة فى الخريف أو الشتاء ثم الحيلولة دون استمرار نموه بخزنه لأسابيع قليلة عند درجات حرارة قريبة من درجة التجمد (صفر — ٥°م) . فإذا زرعت تلك الحبوب المعاملة فى الربيع فإنها تمر بكل مراحل نموها تماماً كما لو كانت الحبوب قد زرعت فى الخريف. ويطلق على هذه المعاملة التى تؤدى إلى تأخير الزراعة من الخريف أو الشتاء إلى الربيع التالى اسم « الارتباع » . وقد اختص الارتباع بدراسة مستفيضة وخاصة فى روسيا ، وذلك بفرض أن الأنواع الشتوية — التى ترتبع وتزرع فى الربيع — تفوق الأنواع الربيعية ، التى تتطلب مثل هذه المعاملة . ومن الممكن ارتباع أنواع أخرى من الحبوب مثل الشعير والشوفان والشيلم والأرز وذلك بأتباع نفس الطريقة .

ويبدو أن الارتباع يسبب الإسراع فى طور من أطور النمو ، الأمر الذى يؤدى إلى الانتقال المبكر من النمو الخضرى إلى مرحلة التكاثر ، وقد كان المعتقد أن الإزهار المبكر — الذى تؤدى إليه معاملة البذور أثناء إنباتها بدرجة حرارة منخفضة — ينشأ من تلك التحولات التى تتأثر فى مراحل النمو الأولى ولكنها أخيراً تسبب الإسراع فى الأيض النباتى العام ، غير أنه قد تبين أنه

لايوجد سوى اختلاف ضئيل بين معدلى النمو فى النباتات المرتبعة وغير المرتبعة وعلى ذلك فهناك احتمال قوى أن مادة معينة تتكون فى الحبوب المعاملة ، وأن هذه المادة هى المسئولة عن تبكير الإزهار .

وقد قام جريجورى وبيرفيس (Gregory and Purvis) — عام ١٩٣٨ بدراسات كثيرة على الارتباع فى نبات الشيلم، اتضح منها أن الارتباع قابل للانعكاس ، بمعنى أن الشيلم المرتبع قد يفقد تماماً خصائص الارتباع إذا عرض لدرجة حرارة مرتفعة أو خزن فى ظروف لاهوائية . كذلك اتضح من هذه الدراسات أنه يمكن إحداث الارتباع فى أجنة الشيلم المنزوعة إذا زرعت على مزارع آجارية تحتوى على الجلوكوز والأملاح المعدنية ، وعلى ذلك فمن المرجح أن تكون الأجنة هى مكان التأثر بعملية الارتباع .

وقد أيدت تجارب الباحثين السابقين ماسبقت الإشارة إليه من أن الارتباع يعجل بالانتقال من النمو الخضرى إلى مرحلة التكاثر . فقد وجد فى نبات الشيلم أن البدايات السبع الأولى التى تخرج من الساق الرئيسية هى بدايات أوراق ، والبدايات الثمانى عشرة التالية تنمو إلى أوراق أو إلى سنابل زهرية حسب درجة الحرارة وطول النهار ، أما البدايات التى تظهر بعد ذلك فتنمو إلى سنابل . وعلى ذلك فإن الارتباع يؤدى إلى تحويل البدايات التى تظهر فى الفترة الوسطى إلى سنابل بدلا من الأوراق .

التواقت الضوئى

لأطوال الفترات اليومية من الإضاءة والإظلام أهمية كبرى بالنسبة لعملية الإزهار فى النبات . ويرجع الفضل فى إبراز هذه الأهمية إلى دراسات العالمين الأمريكيين جارنر وألارد (Garner and Allard) عام ١٩٢٠ . وقد عبر هذان العالمان عن فترة الإضاءة اليومية باسم « التواقت الضوئى » (Photoperiodism) ، وأوضحا أن طول فترة الإضاءة اليومية لايؤثر فى النمو الخضرى فحسب بل وفى ميعاد الإزهار أيضاً . ففى إحدى تجاربهما على

سلالة من فول الصويا — بدآها بعدما ظهرت البادرات فوق سطح الأرض — عرضت مجموعة من البادرات إلى إضاءة يومية مقدارها ٥ ساعات فى اليوم (من الساعه ١٠ صباحا إلى الساعة ٣ بعد الظهر) وعرضت مجموعة ثانية لإضاءة يومية مقدارها ٧ ساعات (من٩ صباحاً إلى ٤ بعد الظهر) وعرضت مجموعة أخرى من البادارت لإضاءة يومية طبيعية (أكثر من ١٢ ساعة يومياً) وذلك للمقارنة ، ويوضح الجدول (٣١) مواعيد الإزهار وارتفاع البادرات المعرضة لتلك الفترات المختلفة من الإضاءة اليومية .

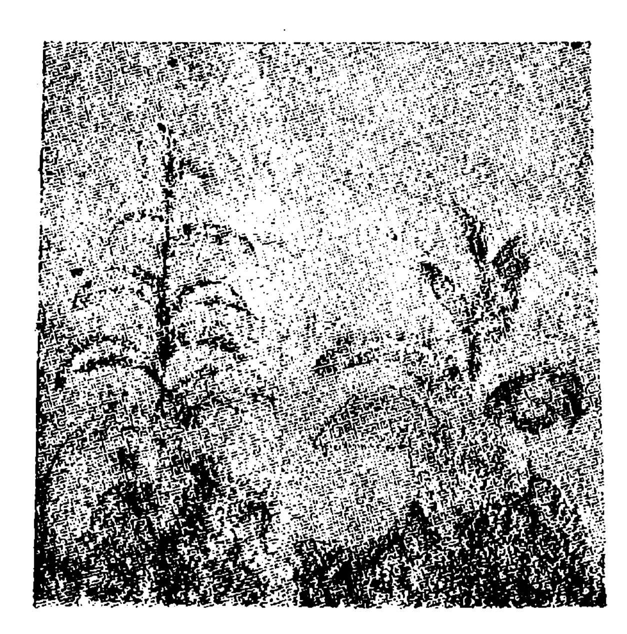
جدول (٣١)

تأثير طول النهار فى النمو الخضرى وميعاد الإزهار
فى فول الصويا (صنف بيكنج)

فترة الإضاءة اليومية	ارتفاع البادرة (بالبوصات)	تاريخ الإزهار
١٠ صباحا — ٣ بعد الظهر	٥ — ٦	١٢ يونيو
٩ صباحا — ٧ بعد الظهر	٨	١٠ يونيو
طول النهار	٤٢ — ٤٨	٢١ يوليو

ولا يؤثر طول فترة الإضاءة اليومية على تاريخ الإزهار فحسب ، بل إنه يحدد كذلك ما إذا كان الإزهار يتم أو لا . ففى إحدى التجارب على نبات الكوزميا ثنائية الأوراق (**Cosmos bipinnatus**) وجد أن الإزهار لايتم إذا مدت النباتات بعد فترة الإضاءة اليومية بضوء صناعى من الغسق حتى منتصف الليل . فعندما زرعت النباتات فى صوبة زجاجية فى بداية شهر نوفمبر ، عرضت مجموعة لضوء النهار الطبيعى فأزهرت قبل يناير ، وعرضت مجموعة ثانية لإضاءة إضافية مدتها ثمان ساعات فى اليوم فبقيت فى طورها الخضرى دون أن تزهر على الإطلاق . والشكل (٣٩٢) يوضح نتائج إحدى التجارب التى أجريت على أحد أنواع التبغ .

(شكل ٣٩٢)



أحد أنوع نبات التبغ المستعملة فى تجارب جاردنر وألارد ١٩٢٠ ، النبات الوجود إلى ليسار كان معرضاً لضوء نهار قصير ، أما النبات الموجود إلى اليمين فكان معرضا لإضاءة إضافية من الغروب حتى منتصف الليل .

وقد ينشأ الإزهار المبكر فى بعض الحالات من إطالة فترة الإضاءة اليومية صناعيا . ففى عام ١٩١٢ ، لاحظ كلبس أنه بينما لم يستطيع أحد أنواع النباتات العصيرية (Sempervivum funkii) الإزهار فى صوبة زجاجية خلال أيام الشتاء قصيرة النهار ، فإن تعريضه لإضاءة صناعية مستمرة دفعته إلى الإزهار شتاء وعلى ذلك فإن هذا النبات العصيرى يتفاعل بطريقة مخالفة لنباتى فول الصويا والكوزميا .

وقد وضعت أسماء مختلفة للتعبير عن هذا الإختلاف المشاهد فى الإزهار . فالنباتات التى لا تزهر إلا إذا عرضت لفترات ضوئية مقدارها أثنتا عشرة ساعة أو أقل تعرف « بنباتات النهار القصير » (Short - day plants) ، والنباتات التى تتطلب — لكى تزهر — فترات ضوئية مقدارها أثنتا عشرة ساعة أو أكثر تعرف « بنباتات النهار الطويل » (Long-day plants) ، أما

النباتات التى تزهر فى مجال واسع من الأطوال النهارية فتعرف « بالنباتات المتعادلة » (Indifferent or neutral plants) . وتضم القائمة التالية بعض أنواع النباتات التى تنتمى لهذه المجموعات الثلاث .

نباتات النهار القصير : الأراولة ، الشبيط ، الكوزميا ، بعض انواع فول الصويا ، الأرز ، الشايلك ، بعض أنواع التبغ .

نباتات النهار الطويل : السكران ، البنجر ، الفجل ، الخس ، القمح ، السبانخ ، بعض أنواع الشعير .

نباتات متعادلة : الطماطم ، الفلفل ، الذرة ، الخيار ، القطن ، عباد الشمس .

وعلى الرغم من أن هناك إضاءة يومية مثلى لعملية الإزهار فى نباتات النهار القصير والطويل ، فإن الإزهار يحدث فى مدى واسع على جانبى هذه القيمة ، ففى أحد أنواع فول الصويا — وهو من نباتات النهار القصير — تبلغ الإضاءة المثلى ٩ ساعات يومياً ، ومع ذلك فإن المدى الذى يتم فيه الإزهار يتراوح بين ٦ ساعات و ١٣ ساعة إضاءة يومية . ونبات البلسم — وهو نبات نهار طويل — يزهر إذا كانت الإضاءة اليومية ما بين ١١ و ١٣ ساعة ، أما فترة الإضاءة المثلى فيقال إنها ثلاث عشرة ساعة . ومن الممكن أن يكون هذا التقسيم أكثر دقة وذلك بعد إدخال مايعرف « بفترات الإضاءات الحرجة » (Critical periods of illumination) فالفترة الضوئية الحرجة بالنسبة لنبات نهار قصير هى تلك التى لايحدث الإزهار إذا زادت الإضاءة اليومية عنها . فإذا كانت الفترة الضوئية الحرجة لأحد أنواع التبغ هى ١٣ — ١٤ ساعة فإن ذلك يعنى أن الإزهار يحدث إذا عرضت النباتات لاضاءة يومية مقدارها ١٣ — ١٤ ساعة أو أقل ، فإذا زادت فترة الإضاءة اليومية عن ١٤ ساعة فإن النمو يستمر خضريا فقط . أما الفترة الضوئية الحرجة لنبات نهار طويل فهى تلك الفترة من الإضاءة التى لايحدث الإزهار إذا نقصت الاضاءة اليومية عنها ،

وتتراوح هذه الفترة فى نبات السكران بين ١٠ و ١١ ساعة . وفى الحقيقة تستطيع معظم نباتات النهار الطويل أن تزهر مع فترات ظلامية قصيرة ، وكثير منها يزهر فى غياب الظلام تماماً ، وعلى ذلك فمن الممكن أن يطلق على هذه النباتات اسم « نباتات الليل القصير » (Short-night plants) .

ولمـا كان طول الفترة الضوئية ذا تأثير ملحوظ على تاريخ الإزهار ، فقد أصبح من الضرورى — على الأقل من الوجهة العملية — تعيين طول فترة الأستحثاث (Induction period) ، أى مدى استمرار المعاملة بفترات الإضاءة اليومية القصيرة أو الطويلة (على حسب نوع النبات) حتى يتحقق تكوين الأزهار . وقد تبين أن كل النباتات التى درست (سواء منها ما كان قصير النهار أو طويلة) تستجيب عند تعريضها لعدد صغير نسبياً من الدورات اليومية . ففول الصويا — مثلا — يتطلب من دورتين إلى أربع دورات قصيرة النهار وذلك لكى يستحث فيه تكوين الأزهار ، ويكفى لاستحثاث الإزهار فى نبات الشبيط تعريضه لدورة واحدة قصيرة النهار ، أما نبات الفراولة فيعد — على النقيض من النباتين السابقين — أكثر خمولا ، إذ يتطلب من ثمان إلى ثلاثين دورة قصيرة النهار وذلك لكى يزهر إذا أعيد إلى دورات طويلة النهار . وبالمثل تتحول نباتات النهار الطويل من الحالة الخضرية إلى الحالة الزهرية إذا عوملت بعدد قليل من الدورات طويلة النهار ، حتى لو أعيدت إلى ظروف ضوئية غير ملائمة لإزهارها . فنبات السكران — مثلا — يكون أزهاراً وهو معرض لدورات قصيرة النهار بعد تعريضه إلى إضاءة مستمرة قدرها ٧٢ ساعة تقريباً : وليس من المحتم أن تتكون البراعم الزهرية خلال مدة التعريض القصيرة للفترة الضوئية المناسبة ، بل قد يتم تكوينها بعد العودة إلى الفترة الضوئية غير الملائمة للإزهار .

وقد قام بعض الباحثين — وخاصة هامنر وبونر (Hamner & Bonner) — بأبحاث يستدل منها على تكون هرمون منشط للإزهار فى الأوراق ، ففى مجموعة من التجارب على نبات الشبيط لاحظ هذان الباحثان ما يلى :

١ — أنه إذا عرضت ورقة واحدة لفترة ضوئية قصيرة على حين عرض باقى النبات لفترة ضوئية طويلة فإن الإزهار يحدث فى جميع أجزاء النبات .

٢ — أن النباتات التى نزعت أوراقها لاتستجيب للفترات الضوئية .

٣ — وعندما استخدمت فى التجارب نباتات ذوات فرعين ، وعرض أحد الفرعين (المانح) لأيام قصيرة النهار ، والثانى (المستقبل) لأيام طويلة النهار ، لوحظ أنه إذا كان الفرع قصير النهار منزوع الأوراق استمر نمو كلا الفرعين خضرياً ، أما إذا كان يحمل أوراقه فإن البراعم الزهرية تتكون على الفرعين .

وتتفق هذه المشاهدات مع الرأى القائل بأن هرموناً منشطاً للإزهار يتكون فى الأوراق المعرضة لفترة ضوئية قصيرة ، وأن هذا الهرمون يمكن أن ينتقل من مكان تكوينه إلى فرع النبات الآخر .

وإذا كان الإزهار فى نبات النهار القصير ينشأ من مؤثر يتكون فى الأوراق نتيجة للمعاملة بفترات ظلامية طويلة ، فإن نباتات النهار الطويل لاتستطيع الإزهار فى مثل هذه الظروف . وقد يعزى الفشل فى الإزهار فى هذه الحالة إلى أنه أثناء الفترات الظلامية الطويلة يتكون فى الأوراق عامل مثبط لاستطالة الفرع الزهرى ، فإذا نزعت كل الأوراق من قمة نبات السكران الوردية فإن إزهاره يتم حتى فى ظروف قصر النهار . وبالمثل يمكن التغلب على التأثير المثبط لليالى الطويلة بتبريد الأوراق . وعلى ذلك فإن طول الليل الحرج بالنسبة للإزهار يعتمد على درجة الحرارة التى ينمو فيها النبات . فيجب أن يكون طول النهار أكثر من ١٢ ساعة لكى يحدث الإزهار فى نبات السكران عند درجة ٣٠°م ، هذا فى حين أن ٩ ساعات تعد كافية عند درجة ١٥°م .

ويرتبط تأثير العامل المثبط لعملية الإزهار — الذى يتكون أثناء الفترات الظلامية الطويلة — بطريقة ما بالتحولات التى تحدث أثناء عملية التنفس فى الورقة ، وعلى ذلك فإن هذا التأثير المثبط يمكن التغلب عليه لا بالتبريد

فحسب بل أيضاً بوضع الأوراق فى جو خال من الأكسيجين من شأنه أن يعطل التنفس . كذلك يمكن التغلب على التأثير المثبط بإمداد الأوراق بالسكر أثناء فترة الظلام .

والتواقت الضوئى ذو أهمية اقتصادية عظيمة ، فيمكن بوساطته إتمام دورة حياة بعض الحوليات مرتين فى سنة واحدة ، ويمكن أن يعطى بعضها الآخر أزهاراً وثماراً لفترة غير محدودة ، كما يمكن أن تستمر حوليات أخرى فى نموها الخضرى — أى دون أن تكون أزهاراً — إلى فترة غير محدودة . ويمكن بالتحكم فى طول النهار جعل الأنواع التى تزهر فى أوقات مختلفة فى الظروف العادية تزهر فى وقت واحد ، ومن ثم يسهل تمام التلقيح بين أنواع لم يكن التلقيح بينها ممكناً .

الفيتوكروم (Phytochrome) :

أدت الأبحاث المبكرة لجارنر وألارد إلى اكتشاف وفصل ودراسة الكثير من صفات الصبغ المسئول عن امتصاص الضوء المؤدى لظاهرة التواقت الضوئى وغيره من الظواهر الفسيولوجية فى النبات . وفى خمسينيات هذا القرن أطلق بورثويك (Borthwick) وهندريكس (Hendricks) على هذه الصبغة إسم « الفيتوكروم » . ويوجد الفيتوكروم فى صورتين تمتص إحداهما الضوء الأحمر ، وتمتص الأخرى الضوء الأحمر البعيد . وقد اعتبر الباحثون أن الصورة الأخيرة هى الصورة النشطة فسيولوجيا . وتتحول الصورتان فيما بينهما كيموضوئياً ، كما أن صورة الضوء الأحمر البعيد تتحول إلى الصورة الأخرى ببطء فى الظلام أو تتغير إلى مركب غير نشط . ويتم هذا التحول الأخير فى الفلقات (كندريك « Kendrick » ورفاقه ، ١٩٧٣) . والفيتوكروم عبارة عن بروتين ذى مجموعة صبغية .

الباب الحادى والأربعون

الوراثة وقوانين مندل

يرجع الفضل الأكبر فى وضع الأسس الأولية لعلم الوراثة إلى القس التشيكوسلوفاكى (جريجور مندل) ، الذى تعد التجارب التى قام بها عام ١٨٦٦ بمثابة أول قبس أضاء الطريق أمام غيره من العلماء ليتتبعوا خطاه ، فقادت تلك الخطوات بالتدريج إلى إقامة صرح علم الوراثة الحديث على أساس وطيد . وقبل دراسة قوانين مندل بالتفصيل يجدر بنا أن نلق نظرة تاريخية عابرة على ما سبق تجارب مندل من محاولات لدراسة توارث الأحياء .

لم يذكر التاريخ القديم شيئاً واضحاً عن علم الوراثة وتربية النباتات فى العصور الأولى ، وإنما أشار إلى ما كان لبعض النباتات من أهمية فى بعض الممالك القديمة . فنخيل البلح مثلا — ويعد من أقدم النباتات المنزرعة المعروفة — استغله البابليون والأشوريون ، إذ تدل نقوشهم على مبلغ ما كانوا يوجهون من رعاية لإنتاج نخيل غزير الثمر . ولما كان النخيل ثنائى المسكن — أى يتميز إلى نبات ذكرى وآخر أنثوى — فلا بد أنهم وصلوا فى مدنيتهم إلى مدى بعيد بحيث تمكنوا من التمييز بين ذكر النخيل وأنثاه ، وقاموا بعمليات تلقيح بين أكثر النباتات صلاحية لإنتاج ثمار وفيرة طيبة المذاق .

ونبات الأرز ، الذى زرع فى الصين واليابان منذ خمسين قرناً أو أكثر ، أنتخبت منه أنواع توافق شتى المناطق المنزرعة ، إذ دلت الآثار التى خلفها الصينيون الأقدمون على أنهم كانوا يوجهون اهتماماً كبيراً نحو انتخاب أجود الأصناف للإكثار من زراعتها ، مما يدل على أنهم كانوا على شئ من الدراية بعلم الوراثة فى ذلك العهد البعيد .

وفى القرن الرابع قبل الميلاد ، اكتشف أرسطو أن التلقيح هو الوسيلة

لدراسة توارث الكائنات ، وناقش الهجين المستولد من التزاوج بين الخيل والحمير ، وبين أن هذا الهجين يختلف باختلاف الأم فى أى من الصنفين ، كما أنه ناقش الأسباب التى أدت إلى عقم البغل الهجين ، ولم تقم مناقشات أرسطو على أساس قوى من الجدل العلمى الصحيح ، بل ذهب به الخيال إلى مذاهب شتى مما أدى إلى افتراض الكثير من المذاهب الفلسفية التى لا تمت إلى الحقائق العلمية بصلة ، فافترض مثلا إمكان حصول تهجين خلطى بين الكلاب والذئاب لإنتاج هجين من الثعالب .

ولم يتقدم علم الوراثة بعد عهد أرسطو تقدماً يذكر حتى القرن السابع عشر بعد الميلاد ، حين سادت هولندا نزعة قوية لتربية نباتات الأبصال عن طريق الانتخاب ، واقترح أحد العلماء الألمان « كاميراريس » اجراء تلقيح بين النباتات لتحسين الأنواع ، ولم يوضع اقتراح كاميراريس موضع التنفيذ حتى عام ١٧٦٠ ، حين قام كولوروتز بعمليات تهجين بين نبات الدخان وغيره من النباتات .

وبينما كان كولوروتز يواصل تجاربه وضعت جمعية العلوم البروسية عام ١٨١٩ — وهى على غير بينة مما يقوم به كولوروتز آنئذ من تجارب تهجين — جائزة مالية كبيرة لمن يستطيع إثبات جواز حدوث التهجين بين النباتات ، ومنذ ذلك الحين تركزت جهود علماء النبات والمشتغلين بفلاحة البساتين فى إثبات إمكان حدوث تلقيح خلطى بين النباتات . وأول من نجح فى القيام بعملية تلقيح بين النباتات هو العلامة « فارر » على نبات القمح لإنتاج سلالات ممتازة ومقاومة لمرض الصدأ ، وقد نجح فى القيام بعملية التلقيح إلا أنه عجز عن تحليل نتائج العملية لا سيما فى نباتات الجيل الثانى ، الذى أسماه بالجيل الوحشى لكثرة ما به من اختلافات .

وبرغم تلك التجارب الأولية ، لم يحاول أحد العلماء أن يضع قوانين محددة للوراثة . وكانت أولى تلك المحاولات هى التى قام بها « فرانسيس جالتون » ، إذ وضع قانوناً أسماه قانون الوراثة العائلية ، ويتلخص فى أن

النتاج يكتسب من كل صفة وحدة يشترك فيها الأبوان والأجداد والأسلاف بنسب محددة ، وثبت فيما بعد خطأ هذا القانون .

وقد ظلت الوراثة من الأمور التى يصعب تفسيرها حتى القرن التاسع عشر عندما تقدمت معارف الإنسان عن الشقية فى النباتات ، وأجريت تجارب عديدة فى التهجين النباتى ، وأمكن الحصول على سلالات تجمع بين صفات (الأب) وصفات (الأم) ، ولكن ظل هذا الدور الذى يقوم به كل منهما مجهولا لا سبيل إلى معرفته ، وكثرت تبعاً لذلك التفسيرات الخاطئة ، وكان من بين هذه التفسيرات أن الحيوان المنوى يحتوى على كل تفصيلات الحيوان البالغ بدرجة مصغرة جداً ، وأن البويضة لم تكن إلا بمثابة موضع يستقر فيه الحيوان المنوى ليستوفى غذاءه ويكمل نموه ، حتى يبلغ الحيوان الصغير الذى يحتويه نضجه ، ويخرج من بطن أمه كامل الخلقة ، إلا أن ظهور بعض صفات الأم فى النسل أحياناً ، وتباين أفراد الجيل الواحد ، وجه الاهتمام إلى الدور الذى تقوم به البويضة ومحتوياتها فى الوراثة .

وكان أول من قام بإجراء تجارب منظمة على الوراثة هو راهب متنسك يقيم فى دير نمسوى ، اسمه جريجور جوهان مندل (Gregor Johann Mendel) وقد قام بتجاربه بهمة ونشاط ، وأمكنه بذلك استكشاف بعض القواعد الأساسية التى تهيمن على هذه العملية فى الكائنات الحية ، وأجرى تجاربه على نبات البازلاء (البسلة) فيما بين عامى ١٨٥٧ و ١٨٦٨ ، وسجل نتائج هذه التجارب فى عامى ١٨٦٦ و ١٨٦٩ ، إلا أن ما قام به من تجارب لم يسترع اهتمام العلماء إلا فى عام ١٩٠٠ .

مندل وأثره فى علم الوراثة

يرجع الفضل الأول فى وضع قوانين عامة ومحددة لعلم الوراثة إلى جريجور مندل الذى ولد ببلدة برن عام ١٨٢٢ ، وما أن بلغ أشده حتى التحق بالدير ، ودرس أثناء تنسكه بالتفصيل جميع ما قام به من سبقوه من المشتغلين بتربية

النباتات ، وعزا فشلهم فى الوصول إلى نتائج حاسمة إلى عدم الدقة ومواصلة العمل . ورأى لزاما عليه — وقد وطد العزم على النجاح — أن يبدأ عمله بالحصول على أصول تامة النقاوة ، وأن يجعل دراسته مختصة بكل صفة على حدة. وبعد عدة تجارب أولية وقع اختياره على نبات البازلاء **(Pisum sativum)** وذلك لما لاحظه فيه من تباين كثير من الصفات بين الأصناف ، ولأن تركيب زهرته وطريقة التلقيح فيها يضمنان الحصول على بذور ملقحة تلقيحاً ذاتياً . وقد حصل أولا على بذور ٢٤ صنفاً مختلفاً ، وزرعها لمدة عامين — قبل القيام بتجاربه — لضمان نقاوة صفاتها ، واختار من بينها ٢٢ صنفاً تظهر فيها صفات متباينة وواضحة وسهلة التعبير ، وهذه الصفات هى :

(١) شكل البذور : مستديرة أو مجعدة .

(٢) لون الفلقات : أصفر أو أخضر .

(٣) لون قصرة البذرة : ملون أو أبيض .

(٤) قوام القرنة : صلبة أو رخوة .

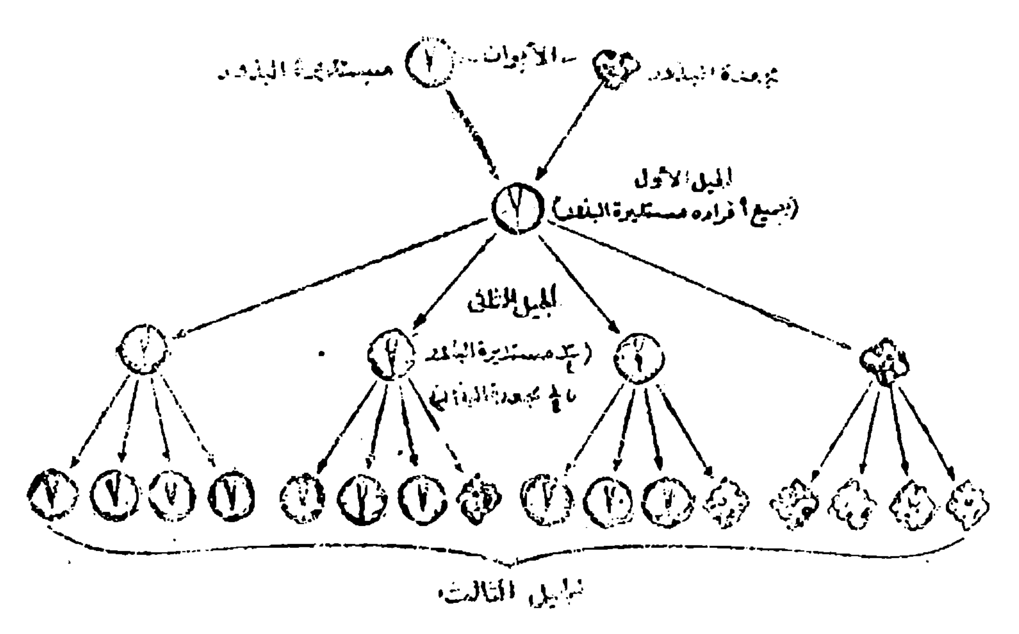
(٥) لون القرنة : أخضر أو أصفر .

(٦) موضع الأزهار : فى آباط الأوراق او موزعة على طول الساق أو مرتبة فى شكل خيمة عند قمة الساق .

(٧) الساق من حيث الطول والقصر : اعتبر مندل الساق طويلة إذا تراوح طولها بين ستة أقدام وسبعة ، وقصيرة إذا تراوح بين $\frac{3}{4}$ و $1\frac{1}{2}$ قدماً .

وقد بدأ مندل تجاربه بدراسة كل زوج من هذه الأزواج السبعة من الصفات على حدة ، مثال ذلك إذا حدث تلقيح بين صنفين من نبات البازلاء — أحدهما مستدير البذور والآخر مجعد البذور (شكل ٣٩٣) — فإن جميع أفراد الجيل البنوى الأول (First filial generation) تكون مستديرة البذور وعند حدوث تلقيح ذاتى بين أفراد الجيل المذكور تنتج أفراد الجيل البنوى الثانى (Second filial generation) ، بعضها مستديرة البذور والبعض

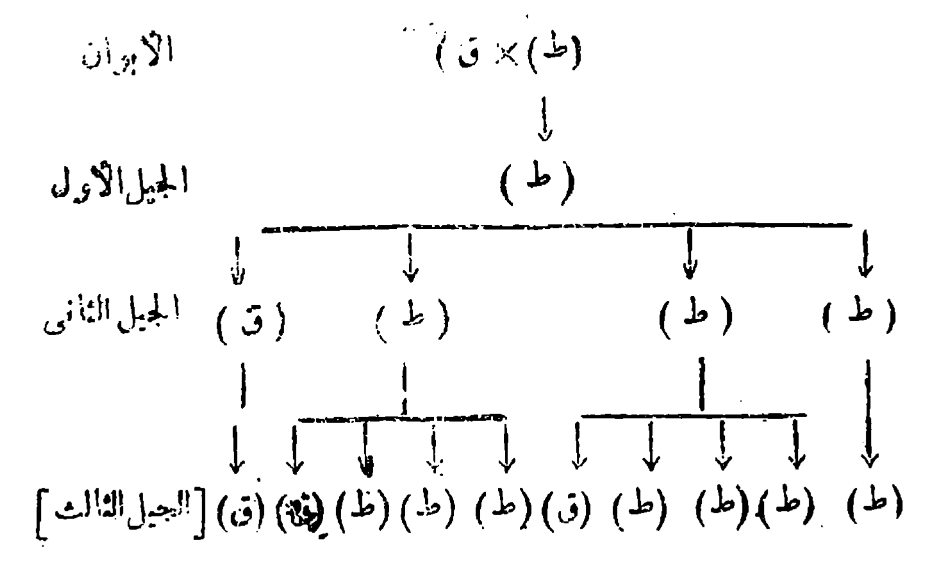
(شكل ٣٩٤)



رسم تخطيطى يبين كيفية توارث صفتى استدارة البذور وتجعدها فى تجارب مندل على نباتات البازلاء (عن سميث)

الآخر مجعدة البذور . ويحدث ذلك بنسبة منظمة وثابتة ، وهى ثلاثة نباتات مستديرة البذور لكل نبات مجعد البذور (أى أن نسبة أفراد الجيل الثانى هى ¾ مستديرة البذور و ¼ مجعدة البذور) . وتحافظ النباتات مجعدة البذور من الجيل الثانى – إذا لقحت فيما بينها تلقيحاً ذاتياً – على صفة تجعد البذور فى جميع أفراد نتاجها ونتاج نتاجها . أما النباتات مستديرة البذور فلا يحافظ على صفة استدارة البذور فيها إلا ثلث أفرادها ، أما الثلثان الباقيان فينتجان أفراداً مستديرة البذور وأخرى مجعدة البذور بنسبة (٣ : ١) محتذية فى ذلك حذو الهجين (Hybrid) الناتج فى الجيل الأول .

وكذلك وجدت نفس النسب عند دراسة صفتى الطول والقصر . فإذا رمزنا لصفة الطول بالرمز (ط) ولصفة القصر بالرمز (ق) أمكننا تلخيص نتائج التلقيح حتى الجيل البنوى الثالث (Third filial Generation) حسب الآتى :



وقد عبر مندل عن الصفة التى تظهر أو تسود فى الجيل الأول بالصفة السائدة (Dominant character) ، وعن الصفة التى تكون كامنة فى الجيل الأول ولكن تظهر فيما يليه من أجيال بالصفة المتنحية (Recessive character) . ففى المثالين السابقين تسود صفة استدارة البذور على تجعدها ، كما يسود طول النباتات على قصرها . وامتدت دراسات مندل إلى جميع الصفات الأخرى لنبات البازلاء ، كما هو موضح فى جدول (٣٢) .

(جدول ٣٢)

أزواج الصفات المدروسة فى نبات البازلاء ، تبين صفات الأبوين والصفة السائدة فى أفراد الجيل الأول .

الصفات المدروسة	صفات الأبوين	الصفة السائدة للجيل الأول
شكل البذرة	(مستديرة × مجعدة)	(مستديرة)
لون الفلقات	(أصفر × أخضر)	(أصفر)
قصرة البذرة	(ملونة × بيضاء)	(ملونة)
شكل القرن	(ممتلئ × محزز)	(ممتلئ)
لون القرنة	(أخضر × أصفر)	(أخضر)
موضع الأزهار	(إبطى × طرفى)	(إبطى)
الساق	(طويلة × قصيرة)	(طويلة)

وأنبت مندل فى كل حالة بذور نباتات الجيل البنوى الأول ، ولاحظ أن الجيل البنوى الثانى يشمل مجموعتين من الأفراد بنسبة ثابتة هى (¾ الأفراد تظهر بها الصفة السائدة و ¼ الأفراد تحمل الصفة المتنحية) .

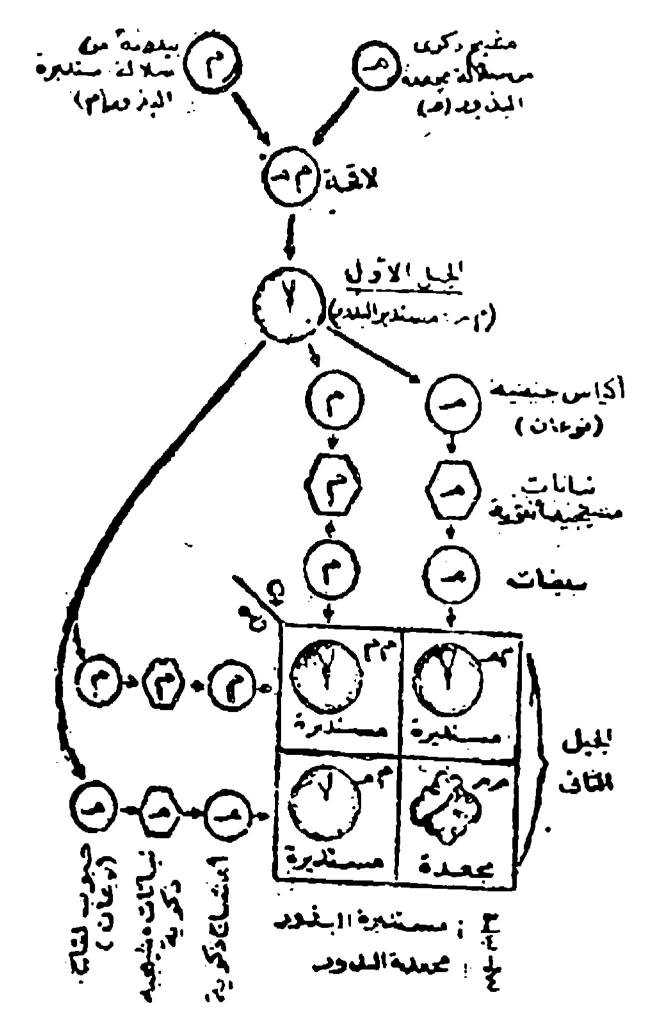
(القانون الأول لمندل)
أو
(قانون الانعزال)

وضع مندل — على ضوء ما أظهرته نتائج تجاربه — القانون الأول من قوانين الوراثة ، وهو المعروف بقانون الانعزال (Law of segregation) ، ونصه كالآتى : « تمثل كل صفة وراثية بعاملين ، ينفصلان عن بعضهما تمام الانفصال عند تكوين الأمشاج » .

فإذا رمزنا (شكل ٣٩٤) لعاملى استدارة البذور فى النبات الأم مستديرة البذور بالرمز (م م) ولعاملى تجعد البذور فى النبات الأب مجعد البذور بالرمز (ه ه) ، فعند تكوين الأمشاج — من ذكرية أو بيضات — ينفصل عاملا كل زوج من العوامل الوراثية المتشابهة ، ويعطى النبات الأم بيضات تحتوى كل بيضة على عامل وراثى واحد (م) كما يعطى النبات الأب نوعاً واحداً من الأمشاج الذكرية (ه) ، ويكون التركيب الوراثى للاقحة — ولكل فرد من أفراد الجيل الأول — هو (م ه) . ومن ثم تكون جميع أفراد الجيل الأول مستديرة البذور . ويعطى كل نبات من أفراد الجيل الأول نوعين من البيضات ونوعين من حبوب اللقاح ، أحدهما تركيبه الوراثى (م) والآخر (ه) . وتتكون أفراد الجيل الثانى من التزاوج بين نوعى البيضات وحبوب اللقاح لتكوين لواقح تنشأ منها أفراد تركيبها الوراثى كالآتى :

١ — (م م) (مستديرة البذور) — نقى سائد .
٢ — (م ه) (مستديرة البذور) — هجين سائد .
٣ — (ه ه) (مجعدة البذور) — متنحى .

(شكل ٣٩٤)



رسم تخطيطي يمثل طريقة انتقال العوامل الوراثية لاستدارة البذور (م) وانجعادها (مـ) حسب القانون الأول لمندل وهو قانون الانعزال .

بنسبة واحد من النباتات مستديرة البذور نقية السلالة (م م) ، إلى إثنين من النباتات مستديرة البذور غير نقية السلالة (م مـ) . إلى واحد من النباتات مجعدة البذور نقية السلالة (مـ مـ) . وتعتبر النباتات نقية السلالة (Pure line) — كما تعرف أيضاً بمتماثلة التركيب الوراثى (Homozygous) — عند تشابه العاملين الوراثيين ، سواء أكانا سائدين أو متنحيين ، ومن البدیهی أنها تنتج أفراداً مماثلة لها تماماً عند التلقيح الذاتى بينهما . أما النباتات التى تحتوى على عاملين وراثيين مختلفين (م مـ) فتعرف بمتباينة التركيب الوراثى (Heterozygous) أو هجن أحادية (Monohybrids) .

وعلى ذلك يتميز أفراد الجيل الثانى مظهرياً إلى نوعين ، أحدهما مستدير البذور — وتركيبه الوراثى إما (م م) أو (م ٥) — والآخر مجعد البذور (٥ ٥) ، ويمثل النوعان الطراز المظهرى (Phenotype) لأفراد الجيل الثانى بنسبة (٣ نباتات مستديرة البذور لكل نبات مجعد البذور) ، أى بنسبة (٣/٤ نباتات مستديرة البذور : ١/٤ نباتات مجعدة البذور) . أما الطراز الجينى (Genotype) فيكون على ثلاث أنواع بالنسب الآتية : « ١ (م م) : ٢ (م ٥) : ١ (٥ ٥) .

ولا يحتوى المشيج الواحد إلا على عامل وراثى واحد ، فهو إما أن يحمل العامل الوراثى لاستدارة البذور (م) أو العامل الوراثى لتجعدها (٥) ، ولكن لا يحدث بحال من الأحوال أن يحمل نفس المشيج العاملين الوراثيين لاستدارة البذور وتجعدها معاً .

وقد وضع مندل تبعاً لذلك تفسيرات لتعليل نتائج تجاربه ، يمكن تلخيصها كالآتى :

وحدة الصفات المستقلة : ويقصد بها أن الكائن الحى — الذى يعد بمثابة مجموعة كاملة فى سائر صفاته الخارجية وخواصه الفسيولوجية — يمثل أيضاً مجموعة وحدات وراثية ، كل وحدة منها مستقلة تمام الاستقلال عما عداها من وحدات ، أو بمعنى آخر أن الصفات الوراثية تكون وحدات مستقلة ، لا تتأثر وحدة كل صفة منها بوحدات الصفات الأخرى . ولنضرب لذلك مثلا الهجين الناتج من تلقيح أبوين أحدهما طويل والآخر قصير ، فإنه يكون دائماً ثابتاً بالنسبة لسيادة صفة الطول بغض النظر عما إذا كان أحد الأبوين أو كلاهما مستدير البذور أو مجعدها ، أو كان أحد الأبوين أو كلاهما أحمر الأزهار أو أبيضها ، أو غير ذلك من شتى الصفات . فصفة الطول هى وحدة مستقلة فى كيفية توارثها لا تتأثر بما عداها من وحدات أو صفات وراثية فى نفس النبات .

السيادة : تحتوى المادة الجرثومية على وحدات من شأنها إظهـار الصفات التى تسود أثناء تكوين جسم الهجين فتظهر ، وتسمى هذه الصفة بالصفة السائدة ، أما الصفة التى يتم السيادة عليها — وتبقى كامنة ما بقيت الصفة السائدة — فتعرف بالصفة المتنحية . وقد توجد الصفات المتنحية فى مادة الجرثومة ولكن لا نشعر بوجودها أو تأثيرها فى حضور الصفة السائدة ، فإذا ما غابت الصفة السائدة أصبحت الصفة المتنحية حرة فى إبداء تأثيرها ، فمثلا فى حالة البازلاء تكون استدارة البذور هى السائدة وتجعدها هى الصفة المتنحية ، فإذا ما ظهرت صفة تجعد البذور فى فرد من أجيال هذا الهجين كان ذلك دليلا حاسماً على خلو هذا الفرد خلواً تاماً من صفة استدارة البذور ، ويطلق على صفتى استدارة البذور وتجعدها — وما شابههما من أزواج الصفات الأخرى كالطول والقصر وكاصفرار الفلقات واخضرارها — بالصفات المتضادة (Allelomorphic characters or Allelomorphs) ، وهى أزواج من الصفات متضادة التأثير ، إحداهما سائدة والأخرى متنحية .

نقاوة الأمشاج : لا يحتوى كل مشيج إلا على صفة واحدة من الصفات المتضادة . ولا يمكن بحال من الأحوال أن يجمع نفس المشيج بين الصفتين المتضادتين .

والتفسيرات الثلاثة — وهى وحدة الصفات المستقلة والسيادة ونقاوة الأمشاج — كان فيها الشرح النظرى الكافى لكيفية توارث الصفات حسب القانون الأول لمندل ، وتعد نقاوة الأمشاج أهم هذه التفسيرات ، إذ دلت أبحاث علم الخلية (Cytology) فيما بعد على التوافق التام بين افتراض مندل لنقاوة الأمشاج وبين سلوك الصبغيات عند تكوين تلك الأمشاج ، وسنشرح هذا التوافق فيما بعد بإسهاب .

التلقيح الرجعى : (Back-cross) . التلقيح الرجعى هو تهجين بين فرد من أفراد الجيل الأول متباين التركيب الوراثى (Heterozygous) مع أحد

الأبوين متشابهى التركيب الوراثى (Homozygous) لـكل من الصفتين المدروستين . مثال ذلك التلقيح بين نبات البازلاء من أفراد الجيل الأول مستدير البذور متباين التركيب الوراثى (م ﻫ) وبين أب متشابه التركيب الوراثى إما بالنسبة لاستدارة البذور (م م) وإما لتجعدها (ﻫ ﻫ) . ففى الحالة الأولى (م ﻫ × م م) تنتج أفراداً جميعها مستديرة البذور ، فهى تتشابه مظهرياً ولكنها تختلف من حيث طرزها الجينية ، فنصفها (م م) والنصف الآخر (م ﻫ) . أما إذا حدث التلقيح الرجعى بين أفراد الجيل الأول متباين التركيب الوراثى وبين الأب متشابه التركيب الوراثى للصفة المتنحية (م ﻫ × ﻫ ﻫ) فإن نصف الأفراد الناتجة تكون مستديرة البذور (م ﻫ) والنصف الآخر مجعدة البذور (ﻫ ﻫ) ، حيث تتشابه نسب الطرز المظهرية والجينية ، فتكون بنسبة (١ : ١) .

التلقيح الإختبارى (Test-cross) : إذا حدث تلقيح بين فرد يحمل صفة سائدة غير محددة الطراز الجينى وبين فرد آخر متشابه التركيب الوراثى للصفة المتنحية عرف هذا النوع من التلقيح بالتلقيح الإختبارى ، لأنه يعد بمثابة اختبار للطراز الجينى للفرد الأول من حيث مدى نقاوه الصفة السائدة ، وما إذا كانت موجودة فى حالة متشابهة أو متباينة التركيب الوراثى ، فإذا كان الطراز المظهرى لأفراد الجيل الناتج عن هذا التلقيح الإختبارى يحدث بنسبة (١ : ١) — بمعنى أن نصف الأفراد يحملون الصفة السائدة والنصف الآخر يحملون الصفة المتنحية — دل ذلك على وجود العامل السائد فى حالة متباينة التركيب الوراثى ، أما إذا كانت جميع الأفراد الناتجة مظهرة للصفة السائدة دل ذلك على وجود العامل السائد فى حالة متشابهة التركيب الوراثى .

ويستغل التلقيح الإختبارى عمليا لإثبات ما إذا كان نبات ما يحمل صفة سائدة — ومجهول الأصل الوراثى — متشابه أو متباين التركيب الوراثى بالنسبة لهذه الصفة ، ففى بعض سلالات من نبات الترمس يسود لون احمرار الأزهار على بياضها . ولما كان السوق يتطلب البذور المنتجة لنباتات تحمل أزهاراً حمراء

فإن المشتغلين بتجارة هذه البذور يعمدون إلى القيام بعمليات تلقيح اختبارية لتعيين الطرز الجينية للنباتات المنتجة للبذور ، حتى يكونوا على بينة من أن جميع البذور التى سوف يطرحونها فى السوق لا تنتج سوى نباتات حاملة لأزهار حمراء ، فإذا كانت النباتات حاملة الأزهار الحمراء -والتى سوف تطرح بذورها فى الأسواق - متشابهة التركيب الوراثى فإن جميع البذور الناتجة عنها تعطى نباتات تحمل جميعها أزهاراً حمراء . أما إذا كانت متباينة التركيب الوراثى فإن ربع ماتنتجه من بذور تعطى نباتات بيضاء الأزهار ، ولذلك تختبر نقاوة احمرار الأزهار فى هذه النباتات بتلقيحها اختبارياً مع نباتات ذات أزهار بيضاء ، ولاتستغل سوى النباتات متشابهة التركيب الوراثى لاحمرار الأزهار فى إنتـــاج البذور المعروضة فى الأسواق . وعلى نسق مشابهة يستغل مربوا الأغنام التلقيح الأختبارى لإختبار مدى نقاوتها للون الفرو المرغوب فيه فى الأسواق .

(القانون الثانى لمنـدل)
أو
(قانون التوزيع المستقل)

لم تقتصر دراسة مندل على التهجين بين أبوين يختلفان فى زوج واحد من الصفات ، بل امتدت تجاربه لتشمل التهجين بين أبوين يختلفان فى زوجين أو أكثر من الصفات المتضادة ، وعندما هجن مندل بين نباتات بازلاء مستديرة البذور صفراء الفلقات وبين أخرى مجعدة البذور خضراء الفلقات ، كانت بذور جميع أفراد الجيل الأول مستديرة البذور صفراء الفلقات (شكل ٣٩٥) كما هو المنتظر من الهجن الأحادية (Monohybrids) عند دراسة كل زوج من الصفات على حدة . وعند التلقيح الذاتى بين أفراد الجيل الأول نتجت أفراد الجيل الثانى على أربعة طرز - من حيث شكل البذور ولون الفلقات - كالآتى :

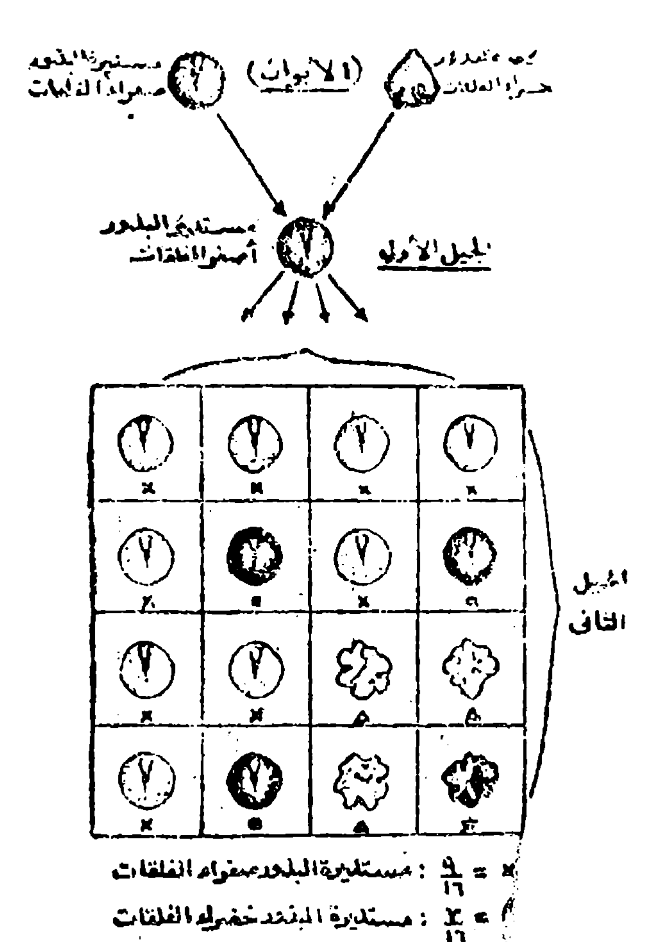
(أ) أفراد مستديرة البذور صفراء الفلقات ونسبتها ٩ .

(ب) أفراد مستديرة البذور خضراء الفلقات ونسبتها ٣ .

(حـ) أفراد مجعدة البذور صفراء الفلقات ونسبتها ٣ .

(د) أفراد مجعدة البذور خضراء الفلقات ونسبتها ١ .

(شكل ٣٩٥)



رسم تخطيطى يبين طريقة توارث صفات استدارة البذور أو تجعدها من جهة واصفرار الفلقات أو اخضرارها من جهة أخرى فى نبات البازلاء ، حسب القانون الثانى لمندل (قانون التوزيع المستقل) ، ويبين اخضرار الفلقات فى الرسم بالتظليل الاسود

ويفترض القانون الثانى لمندل — أو قانون التوزيع الحر أو المستقل — أن كل زوج من الصفات المتضادة يكون مستقلا فى توارثه تمام الاستقلال

عما عداه من أزواج ، بمعنى أن توارث استدارة البذور وتجعدها يكون مستقلا تمام الاستقلال عن توارث اصفرار الفلقات واخضرارها ، ومن ثم فلابد من أن تكون النسبة بين النباتات مستديرة البذور ومجعدة البــذور هى (٣ : ١) فى الجيل الثانى ، وكذلك تكون نفس النسبة بين النباتات صفراء وخضراء الفلقات . ويبين الجدول الآتى (جدول ٣٣) الأعداد الفعلية كما وجدها مندل ، والأعداد المنتظرة — حسب قانونية الأول والثانى — بين أفراد الجيل الثانى .

(جدول ٣٣)

الأعداد الفعلية والمنتظرة والنسب التقريبية لأفراد الجيل الثانى الناتجة عن التهجين بين نبات بازلاء مستدير البذور أصفر الفلقات وآخر مجعد البذور أخضر الفلقات .

الأفراد الناتجة	العدد الفعلى	العدد المنتظر	النسب التقريبية
مستديرة صفراء	٣١٥	٣١٣	٩
مستديرة خضراء	١٠٨	١٠٤	٣
مجعدة صفراء	١٠١	١٠٤	٣
مجعدة خضراء	٣٢	٣٥	١

فإذا ما درسنا كل زوج من الصفات المتضادة على حدة تبين لنا أنها توجد بين الجيل الثانى بنفس النسبة (٣ : ١) التى توجد بها فى الهجن الأحادية . فمثلا عند دراسة الصفتين المتضادتين — استدارة البذور وتجعدها — نجد ما يأتى :

	بذور مستديرة		بذور مجعدة
العدد الفعلى	٤٢٣		١٣٣
العدد المنتظر	٤١٧	:	١٣٩

فالنسبة بين الأعداد الفعلية شديدة القرب من النسبة المنتظرة وهى (٣ : ١) .

وتنطبق نفس النسبة فى حالة الزوج الآخر من الصفات المتضادة المدروسة — أى اصفرار الفلقات واخضرارها — كما هو مبين فيما يلى :

	فلقات صفراء		فلقات خضراء
العدد الفعلى	٤١٦	:	١٤٠
العدد المنتظر	٤١٧		١٣٩.

من هذا يتضح أن القانون الأول لمندل — وهو قانون الانعزال — ينطبق تمام الانطباق على الهجن الناتجة من أبوين يختلفان فى أكثر من زوج من الصفات المتضادة ، كما أن توارث كل زوج من الصفات المتضادة يعد مستقلا تمام الاستقلال عن توارث ما عداه من أزواج أخرى من الصفات ، أى أن توارث صفتى استدارة البذور وتجعدها مستقل تمام الاستقلال عن توارث صفتى اصفرار الفلقات واخضرارها كما يتضح من التحليل الآتى :

الجيل الثانى	٣ مستديرة	٣ صفراء	= ٩ مستديرة صفراء
		١ خضراء	= ٣ مستديرة خضراء
	١ مجعدة	٣ صفراء	= ٣ مجعدة صفراء
		١ خضراء	= ١ مجعدة خضراء

أو بمعنى آخر تكون نسبة أفراد الجيل الثانى كالآتى : (أ) ٩/١٦ أفراد مستديرة البذور صفراء الفلقات ، وهى تمثل الصفتين السائدتين ، (ب) ٣/١٦ أفراد مستديرة البذور خضراء الفلقات ، أى بها صفة سائدة هى استدارة البذور ، وأخرى متنحية ، هى اخضرار الفلقات ، (ج) ٣/١٦ أفراد مجعدة البذور صفراء الفلقات ، أى بها صفة سائدة هى اصفرار الفلقات وصفة متنحية هى تجعد البذور ، (د) ١/١٦ أفراد مجعدة البذور خضراء الفلقات ، وهى تمثل صفتين متنحيتين .

وعلى هذا يمكن استنتاج أن النسبة (٩ : ٣ : ٣ : ١) هى النسبة النموذجية للجيل الثانى الناتج عن التهجين بين أبوين يختلفان فى زوجين من الصفات ، بينما ينعزل كل زوج من الصفات المتضادة مستقلا عن الزوج الآخر تمام الاستقلال بنسبة (٣ : ١) . فإذا ما رمزنا لاستدارة البذور بالعامل الوراثى (م) ، فغياب هذا العامل أو تنحيه يسبب تجعدها ويرمز للعامل المتنحى بالحرف (مـ) ، كما يرمز لعامل اصفرار الفلقات بالرمز (ص) وعامل الاخضرار بالرمز (صـ) . ومن ثم فيرمز للنبات الأب مستدير البذور أصفر الفلقات بالرمز (مم ص ص) ، وللأب الآخر مجعد البذور أخضر الفلقات بالرمز (مـ مـ صـ صـ) ، فيكون التركيب الوراثى لكل مشيج من أمشاج الأب الأول هو (م ص) ومن الأب الثانى هو (مـ صـ) ، كما هو موضح (شكل ٣٩٦) . أما أفراد الجيل الأول فيكون تركيبها الوراثى جميعها هو : (م مـ ص صـ) ، وعند التلقيح الذاتى بين أفراد الجيل الأول تتكون أربعة أنواع من حبوب اللقاح أو البيضات تركيبها الوراثى كالآتى : (م ص) ، (م صـ) ، (مـ ص) ، (مـ صـ) . وينتج عن الإخصاب تكوين أفراد الجيل الثانى بالأشكال والنسب المبينة بالشكل .

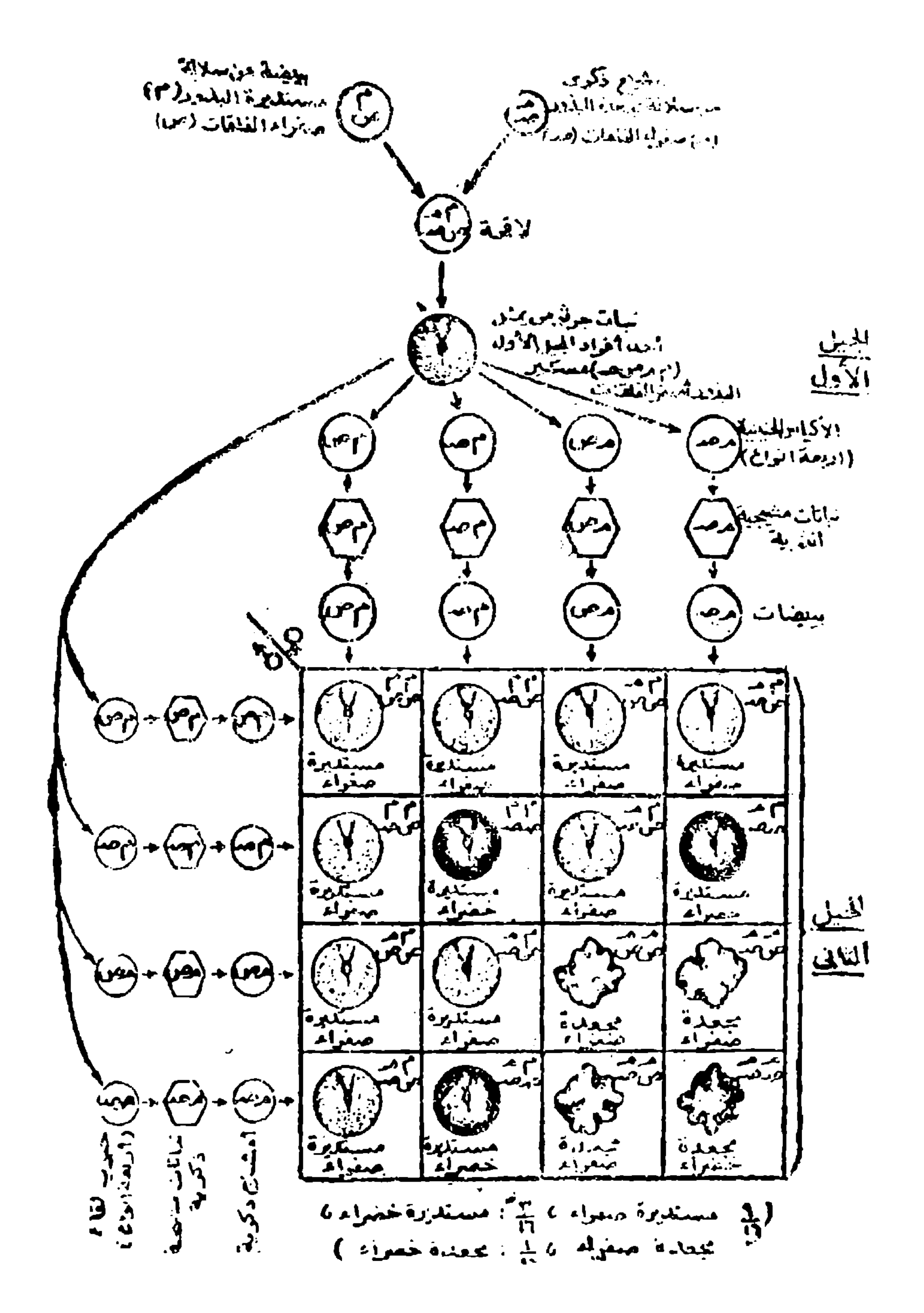
واستنتج مندل من ذلك أن العاملين الوراثيين الخاصين باستدارة البذور وتجعدها مستقلان تمام الاستقلال عن العاملين الوراثيين الآخرين الخاصين باصفرار الفلقات واخضرارها ، ولا يوجد ارتباط بينهما عند توزيعهما المستقل فى الأمشاج ، ووضع مندل قانونه الثانى الذى يعرف بقانون التوزيع المستقل (Law of independent assortment) ، ونصه كالآتى :

« مكونات الأزواج المختلفة من العوامل الوراثية تتوزع توزيعاً مستقلا عند تكوين الأمشاج » .

توارث الصفات فى الحيوانات :

بعد دراسة توارث الصفات فى النباتات توجهت البحوث نحو دراسة توارث الصفات فى الحيوانات . ومن أهم الحيوانات التى درست دراسة وراثية تفصيلية — لتطبيق النظريات المندلية — الفئران (شكل ٣٩٧) والأرانب ، وذلك لسهولة تربية عدد وافر منها ولقصر الزمن بين أجيالها المتعاقبة . وكان من بين هذه البحوث دراسة توارث صفات الفرو فى نوع

(شكل ٣٩٦)



رسم تخطيطي يمثل طريقة انتقال زوجين من العوامل الوراثية في نبات البازلاء ، حسب القانون الثاني لمندل أو قانون التوزيع المستقل ، حيث يوجد العاملان الوراثيان لاستدارة الحبوب (م) وتجعدها (ـمـ) على صبغيين متماثلين ، والعاملان الوراثيان لاصفرار الفلقات (ص) واخضرارها (ـصـ) على صبغيين متماثلين آخرين

من الفئران تعرف بإسم « خنازير غينا » (Guinea pigs) — من حيث خشونة الفرو أو نعومته وتلونه أو بياضه — ووجد أن الخشونة تسود النعومة ، وتلون الفرو يسود بياضه ، فإذا رمزنا للعوامل الوراثية المسئولة عن هذه الصفات بالرموز الآتية : —

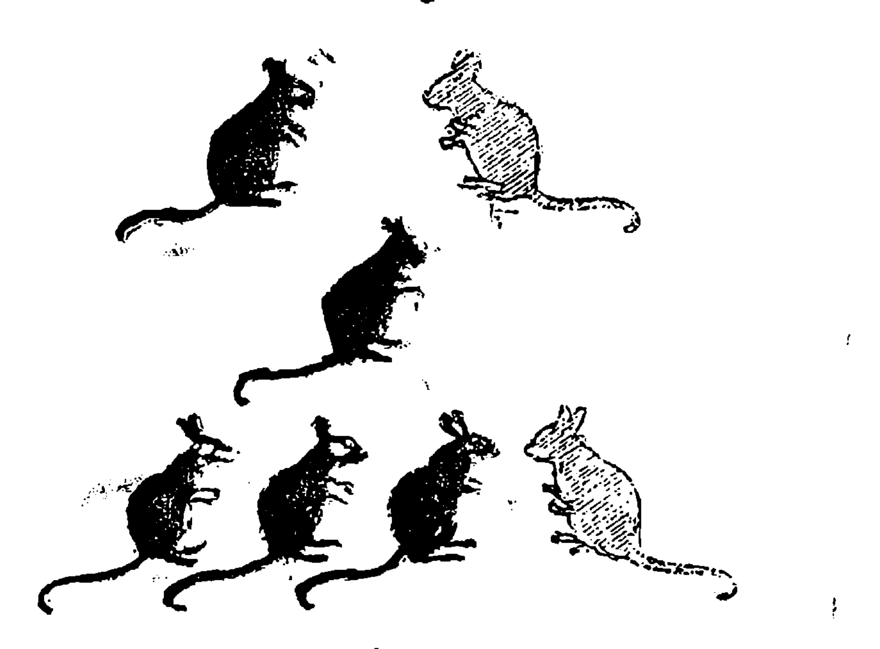
(خ) لخشونة الفرو ؛

(خ) لنعومة الفرو ، وهى متنحية بالنسبة للخشونة .

(م) لتلون الفرو .

(مـ) لبياض الفرو ، وهى متنحية بالنسبة للتلون .

(شكل ٣٩٧)



توارث اللون فى الفئران ، حيث يرى فى أعلى الشكل الأبوان ، أحدهما أسود اللون والآخر بنى (المخطط بالشكل). وفى الوسط أحد أفراد الجيل الأول التى تكون كلها سوداء ، وفى أسفل أفراد الجيل الثانى بنسبة ثلاثة فئران سوداء لكل فأر بنى اللون ، مما يدل على السيادة المطلقة لسواد اللون على بنيته (عن شول)

فإذا حدث تهجين بين فأر ذى فروة ناعمة ملونة — تركيبه الوراثى (خ خ م م) — وبين آخر خشن الفرو أبيضه (خ خ مـ مـ) ، نتجت أفراد الجيل الأول جميعها خشنة الفرو ملونة (خ خ م مـ) . وتعطى أفراد الجيل الأول — ذكوراً كانت أو إناثاً — أربعة أنواع من الأمشاج بأعداد متساوية حسب الطرز الجينية الآتية : — (خ م) ، (خ مـ) ، (خ م) ، (خ مـ) .

وإذا مثلنا نتائج التزاوج بين هذه الأمشاج — نتيجة للتهجين الذاتي بين أفراد الجيل الأول — برقعة شطرنجية اتجاهها الأفقي يمثل الأمشاج الذكرية والرأسي يمثل الأمشاج الأنثوية ظهرت أفراد الجيل الثاني بالنسب والصفات الآتية : (٩ خشنة الفرو ملونة : ٣ خشنة الفرو بيضاء : ٣ ناعمة الفرو ملونة : ١ ناعمة الفرو بيضاء) .

وامتدت الدراسات الوراثية على هذه الفئران لتشمل زوجاً ثالثاً من الصفات المتضادة ، هو قصر الشعر أو طوله . ولما كان قصر الشعر يسود طوله فقد رمز لقصر الشعر بالعامل الوراثي (ق) ولطوله بالرمز (قـ) ، وعمل تهجين بين فأر حامل للصفات السائدة الثلاث — أي خشن الفرو ملون قصير الشعر تركيبه الوراثي (خ خ م م ق ق) — وبين آخر يحمل الصفات المتضادة المتنحية ، أي ناعم الفرو أبيض طويل الشعر (خـ خـ مـ مـ قـ قـ) ، كما يرى في شكل (٣٩٨) ، فنتجت أفراد الجيل الأول جميعها خشنة الفرو ملونة قصيرة الشعر (شكل ٣٩٨ : أ) ،

(شكل ٣٩٨ : ا)

التهجين في الفئران بين أب خشن الفرو ملون قصير الشعر وآخر ناعم الفرو أبيض اللون طويل الشعر . ويرى (ا) التركيب الوراثي للأبوين والأمشاج المتكونة منهما ، وأفراد الجيل الأول والأمشاج المتكونة منها أما في الصفحة التالية (ب) فترى رقعة شطرنجية لإظهار عدد الطرز الظاهرية والجينية لأفراد الجيل الثاني ، كما تبين نسب الطرز

♀ / ♂	خ م ق	خ م قـ	خ مر ق	خ مر قـ	خـ م ق	خـ م قـ	خـ مر ق	خـ مر قـ
خ م ق	خ خ م م ق ق (٠)	خ خ م م ق قـ (٠)	خ خ م مر ق ق (٠)	خ خ م مر ق قـ (٠)	خ خـ م م ق ق (٠)	خ خـ م م ق قـ (٠)	خ خـ م مر ق ق (٠)	خ خـ م مر ق قـ (٠)
خ م قـ	خ خ م م ق قـ (٠)	خ خ م م قـ قـ (★ ★)	خ خ م مر ق قـ (٠)	خ خ م مر قـ قـ (★ ★)	خ خـ م م ق قـ (٠)	خ خـ م م قـ قـ (★ ★)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ م مر قـ قـ (★ ★)
خ مر ق	خ خ م مر ق ق (٠)	خ خ م مر ق قـ (٠)	خ خ مر مر ق ق (★)	خ خ مر مر ق قـ (★)	خ خـ م مر ق ق (٠)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ مر مر ق ق (★)	خ خـ مر مر ق قـ (★)
خ مر قـ	خ خ م مر ق قـ (٠)	خ خ م مر قـ قـ (★ ★)	خ خ مر مر ق قـ (★)	خ خ مر مر قـ قـ (+ +)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ م مر قـ قـ (★ ★)	خ خـ مر مر ق قـ (★)	خ خـ مر مر قـ قـ (+ +)
خـ م ق	خ خـ م م ق ق (٠)	خ خـ م م ق قـ (٠)	خ خـ م مر ق ق (٠)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خـ خـ م م ق ق (٥)	خـ خـ م م ق قـ (٥)	خـ خـ م مر ق ق (٥)	خـ خـ م مر ق قـ (٥)
خـ م قـ	خ خـ م م ق قـ (٠)	خ خـ م م قـ قـ (★ ★)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ م مر قـ قـ (★ ★)	خـ خـ م م ق قـ (٥)	خـ خـ م م قـ قـ (x)	خـ خـ م مر ق قـ (٥)	خـ خـ م مر قـ قـ (x)
خـ مر ق	خ خـ م مر ق ق (٠)	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ مر مر ق ق (★)	خ خـ مر مر ق قـ (★)	خـ خـ م مر ق ق (٥)	خـ خـ م مر ق قـ (٥)	خـ خـ مر مر ق ق (+)	خـ خـ مر مر ق قـ (+)
خـ مر قـ	خ خـ م مر ق قـ (٠)	خ خـ م مر قـ قـ (★ ★)	خ خـ مر مر ق قـ (★)	خ خـ مر مر قـ قـ (+ +)	خـ خـ م مر ق قـ (٥)	خـ خـ م مر قـ قـ (x)	خـ خـ مر مر ق قـ (+)	خـ خـ مر مر قـ قـ (=)

الجيل الثاني:
(٠) $\frac{٢٧}{٦٤}$ خشن ملون قصير الشعر — (★) $\frac{٩}{٦٤}$ خشن أبيض قصير الشعر — (٥) $\frac{٩}{٦٤}$ ناعم ملون قصير الشعر — (★ ★) $\frac{٩}{٦٤}$ خشن ملون طويل الشعر

(+) $\frac{٣}{٦٤}$ خشن قصير الشعر — (+ +) $\frac{٣}{٦٤}$ خشن أبيض طويل الشعر — (x) $\frac{٣}{٦٤}$ ناعم ملون طويل الشعر — (=) $\frac{١}{٦٤}$ ناعم أبيض طويل الشعر

(شكل ٢٩٨ : ب)

وعند التهجين الذاتى بين أفراد هذا الجيل نتجت أفراد الجيل الثانى (شكل ٣٩٨ : ب) بنسب الطرز المظهرية الآتية :

النسبة	الصفات
٢٧	خشنة الفرو ملونة قصيرة الشعر
٩	خشنة الفرو بيضاء قصيرة الشعر
٩	ناعمة الفرو ملونة قصيرة الشعر
٩	خشنة الفرو ملونة طويلة الشعر
٣	ناعمة الفرو بيضاء قصيرة الشعر
٣	خشنة الفرو بيضاء طويلة الشعر
٣	ناعمة الفرو ملونة طويلة الشعر
١	ناعمة الفرو بيضاء طويلة الشعر

ويبين (جدول ٣٤) بعض الصفات المندلية فى الحيوان والإنسان .

نسب الطرز المظهرية للجيل الثانى ونظرية ذات الحدين :

وقد وجد أن عدد أفراد الجيل الثانى — ونسب طرزها المظهرية — لأبوين يختلفان فى أى عدد من أزواج الصفات المتضادة يمكن معرفته بسهولة بتطبيق نظرية ذات الحدين على مجموعة النسب الأصلية ، وهى$(٣+١)^{ن}$ ، حيث تدل (ن) على عدد الصفات المختلفة فى الأبوين ، كما هو مبين فى (جدول ٣٥) .

تفسير قوانين مندل والنظرية الصبغية

كانت الخطوة التالية ، وقد ثبتت صحة القوانين المندلية فى توارث الصفات أن يتسابق العلماء إلى تفسير هذه القوانين وإيجاد النظريات لتعليل أسبابها . وقبل اكتشاف المجهر وضعت عدة نظريات ، منها نظرية الإيديوبلازم (Idioplasm) ونظرية البلازم الجرثومى (Germ plasm) ، وتفترض النظرية الأولى وجود مادة خاصة بالخلية وظيفتها تنظيم نقل الصفات الوراثية

من جيل إلى جيل . وقد ظلت هذه النظرية مسيطرة أمداً طويلا حتى اكتشفت الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) ، وعندئذ وجد أن كثيراً من الوظائف والصفات التى تقول بها نظرية الإيديوبلازم يمكن أن تحققها وتؤديها الصبغيات ذاتها .

(جدول ٣٤)

بعض الصفات المندلية فى الحيوان والإنسان

الكائن	الصفة السائدة	الصفة المتنحية
الإنسان	لون العين البنى	لون العين الأزرق
	الأصابع القصيرة	الأصابع العادية
المواشى	اللون الأسود	اللون الأحمر
	عدم وجود القرون	وجود القرون
الخيول	سواد الجلد	جلد كستنائى اللون
	جلد رمادى اللون	أى لون آخر
	الخب فى المشى	الخطو فى المشى
الكلاب	لون رمادى	لون أسود
	لون زاه	لون باهت
	ذيل سميك	ذيل عادى
القطط	لون أسود	لون أزرق
	شعر قصير	شعر طويل (انجورا)
الفئران	لون رمادى	لون أبيض

(جدول ٣٥)

نسب الطرز المظهرية وعدد المجموعات الوراثية في الجيل الثاني بتطبيق نظرية ذات الحدين على مجموعة النسب الأصلية ، وهي (٣ + ١)^{ن} حيث تدل (ن) على عدد الصفات المختلفة في الأبوين

عدد الصفات	(٣+١)^{ن}	نسب الطرز المظهرية	عدد المجموعات الوراثية
١	(٣+١)^{١}	٣ + ١ (أو) (٣:١)	٤
٢	(٣+١)^{٢}	٣^{٢} + ٢ × ٣ + ١ (أو) (٩ : ٣ : ٣ : ١)	١٦
٣	(٣+١)^{٣}	٣^{٣} + ٣ × ٣^{٢} + ٣ × ٣ + ١ (أو) (٢٧ : ٩ : ٩ : ٩ : ٣ : ٣ : ٣ : ١)	٦٤
٤	(٣+١)^{٤}	٣^{٤} + ٤ × ٣^{٣} + ٦ × ٣^{٢} + ٤ × ٣ + ١ (أو) (٨١ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٣ : ٣ : ٣ : ٣ : ١)	٢٥٦
٥	(٣+١)^{٥}	٣^{٥} + ٥ × ٣^{٤} + ١٠ × ٣^{٣} + ١٠ × ٣^{٢} + ٥ × ٣ + ١ (أو) (٢٤٣ : ٨١ : ٨١ : ٨١ : ٨١ : ٨١ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٢٧ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٩ : ٣ : ٣ : ٣ : ٣ : ٣ : ١)	١٠٢٤

أما نظرية البلازم الجرثومى فتفترض أيضاً وجود مادة خاصة تحمل الصفات الوراثية ، وأن الفرد يشبه أبويه ، لا لأنهما أنتجاه ، ولكن لأن كلا من الابن والأبوين إنحدر من بلازمة جرثومية واحدة . وفسر ذلك بأنه عندما تنقسم البيضة المخصبة فإن بعض الخلايا الناتجة تبقى بمعزل عن عمليات الانقسام التى تتبع ذلك ، ولا تدخل فى تكوين الأعضاء المختلفة للكائن الحى الناتج ، وإنما تستغل مبكرة لتكوين الخلايا الجرثومية لهذا الناشىء الجديد . ومن الطبيعى أن هذه النتيجة باهرة لأنها تركز الوحدات الوراثية فى الخلايا الجرثومية وتفسر الكثير من الظواهر الوراثية .

لم يمكن تفسير توارث الصفات تفسيراً علمياً إلا بعد أن تقدم علم الخلية (Cytology) ، واستطاعت المجاهر القوية أن تستشف جميع ما تحتويه الخلية من محتويات — وخاصة الكروموسومات أو الصبغيات (Chromosomes) — ثم دراسة سلوك هذه الصبغيات دراسة تفصيلية أثناء الانقسامات الخلوية ، وكان ساتون (Sutton) — عام ١٩٠٢ — أول من استكشف أن هناك تطابقاً جلياً بين سلوك الصبغيات وسلوك العوامل الوراثية ؛ ومهد استكشاف ساتون السبيل للعالم الأمريكى مورجان (Morgan) ليضع النظرية الحديثة لتفسير آلية توارث الصفات فى الكائنات الحية ، وهذه النظرية تقول بأن الصبغيات هى حاملات الصفات الوراثية ، وأن كل ما يحدث فى الصبغيات ينعكس على صفات الفرد ، وقام مورجان ومعاونوه بدراسات على أكبر جانب من الأهمية أماطوا بها اللثام عن كثير من الغوامض المتصلة بآلية توارث الصفات عن طريق الصبغيات . وكانت غالبية دراسات مورجان وتلاميذه على ذبابة الفاكهة الأمريكية — المعروفة علمياً باسم « دروسوفيلا ميلانوجاستر » **(Drosophila melanogaster)** — ومن أهم مميزات هذه الذبابة أن التناسل يتكرر فيها فى مدة تتراوح بين العشرة والأربعة عشر يوماً ، وأن الجيل الواحد قد يصل عدد أفراده إلى أكثر من المائتين ، وقد أمكن معرفة الكثير عن الوراثة وتفسير الظواهر المندلية فى هذه الذبابة نظراً لكثرة عدد أنسالها وسرعة تتابع أجيالها .

النظريـة الصبغيـة

أماط اكتشاف المجهر — وما تبع ذلك من تقدم مستمر فى علم الخلية (Cytology) — اللثام عن ماهية المادة الخلوية المسئولة عن انتقال الصفات الوراثية من الأجداد والأباء إلى الأبناء والأحفاد ، إذ وجد أنه إذا صبغنا النواة بأحد الأصباغ التى تبرز تفاصيلها وتظهر مفرداتها ، فإنها لا تصطبغ جميعها بدرجة متساوية ، بل تتميز بداخلها بعض جزيئات دقيقة — تكون عادة مستطيلة — تلتهم الصبغ بشراهة أكثر مما عداها من أجزاء داخلية للنواة التى تكون عادة باهتة الاصطباغ ، ولذلك سميت هذه الجزيئات الشديدة الشراهة للأصباغ باسم الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ومعناه « الأجسام الملونة » وهذه الخاصية فى الصبغيات تشبه تماماً خاصة الاصطباغ فى مادة تعرف باسم الصبغين أو الكروماتين (Chromatin) . تحتوى على الحمض النووى (Nucleic acid) . ومن مميزات هذا الحمض احتفاظه بالألوان ذات الطبيعة الكيميائية القاعدية . ونواة الخلية — بما تحتوى بداخلها من صبغيات أو كروموسومات — هى المختصة بالوراثة . ويفصل النواة عن سيتوبلازم الخلية غشاء نووى ، توجد بداخله شبكة من مادة الصبغين وسائل نووى . كما قد يوجد بداخله أيضاً جسم كروى — أو جسمان — يسمى النوية (Nucleolus) . والنواة — والشبكة الصبغينية على وجه الخصوص — هى أهم جزء فى الخلية من الوجهة الوراثية والحيوية . إذ تحمل الخيوط الصبغينية (Chromatin threads) الوحدات الوراثية التى تحدد العوامل التى يرثها الابن عن الأبوين . سواء أكان نباتاً أو حيواناً أو إنساناً . والشبكة الكروماتينية أو الصبغينية تمثل حالة النواة فى طور السكون . أما فى حالة انقسام الخلية فتنفصل الشبكة الصبغينية إلى عدد ثابت من أجسام عصوية الشكل أو صبغيات . وكل كائن حى تحتوى نواة الخلية فيه — وتستوى فى ذلك جميع الخلايا الجسدية — على عدد ثابت من الصبغيات ، إلا أن عددها يختلف باختلاف الكائنات ، حتى أنه كثيراً ما يمكن معرفة نوع النبات

أو الحيوان من عدد الصبغيات التى تظهر فى النواة المنقسمة لأية خلية (جدول ٣٦) .

وتختلف الصبغيات — فى نواة كل خلية — فيما بينها من حيث الشكل والحجم والترتيب ، إلا أنها توجد فى أزواج متماثلة ، بمعنى أن لكل صبغى صبغياً مماثلا (Homologous chromosome) ، فتوجد مثلا فى كل خلية من خلايا نبات القمح أربعة عشر صبغياً ، تنتظم فى سبعة أزواج من الصبغيات المتماثلة ، وفى ذبابة الفاكهة ثمانية صبغيات تنتظم — من حيث التماثل — فى أربعة أزواج ، وهكذا دواليك .

(جدول ٣٦)

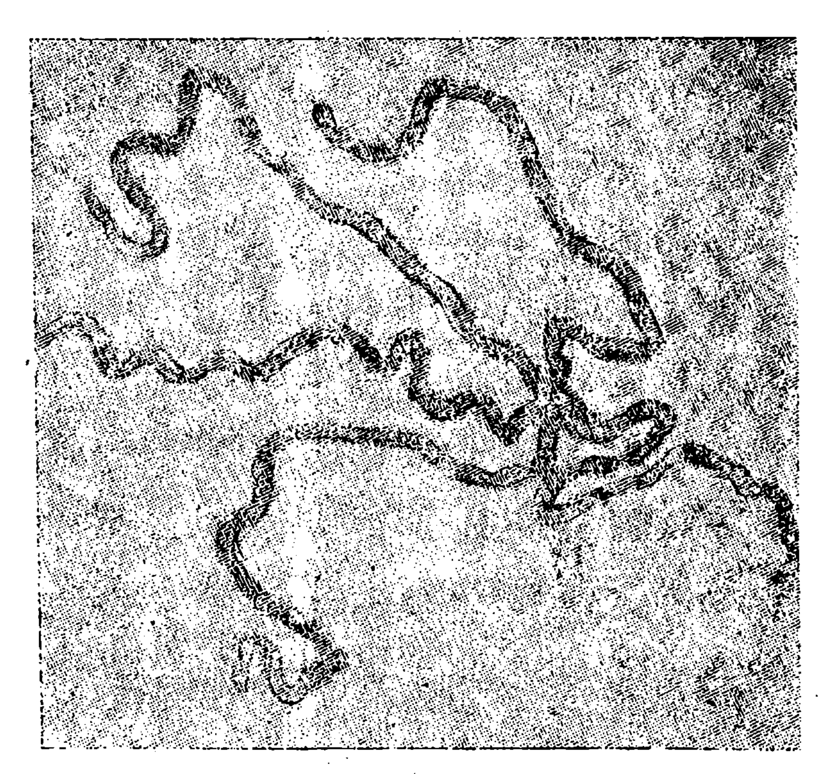
عدد الصبغيات فى عدة كائنات — من إنسان وحيوان ونبات — حيث تمثل المجموعة الثنائية بالرمز (٢ن) والمجموعة الأحادية بالرمز (ن) ، ويدل الرمز الأخير أيضاً على عدد الصبغيات المتماثلة (Homologous chromosomes).

الكائن	(٢ ن)	(عدد أزواج الصبغيات المتماثلة)
الإنسان	٤٦	٢٣
الأرنب	٤٤	٢٢
الفأر	٤٠	٢٠
ذبابة الفاكهة	٨	٤
دودة الاسكاريس	٤	٢
الذرة	٢٠	١٠
البسلة	١٤	٧
الفول	١٢	٦

وإذا فحصنا الصبغيات فى المراحل الأولى للإنقسام الميوزى للنواة بقوة أكثر تكبيراً لاستطعنا أن نتبين فيها بعض حبيبات أدكن مما يجاورها

اصطباغاً . وهي كالعقد تنتظم على مدى طول الصبغي ، وتعرف هذه **الحبيبات** باسم الجسيمات الصبغية (Chromomeres) . وبعض هذه الجسيمات تكون **غليظة** إلى حد ما وكثيرة العناقيد . أما البعض الآخر فيكون أرفع وأقل تزاحماً . ولا تنتظم الجسيمات الصبغية على أبعاد متساوية بل تتباين بينها المسافات . ومن اليسير مشاهدة هذه الجسيمات أثناء الطور التمهيدى الأول (First prophase) لانقسام النواة. حيث تكون الصبغيات خيوطاً طويلة ورفيعة للغاية (شكل ٣٩٩) . وتنتظم على الجسيمات الصبغية الوحدات الوراثية — أو الجينات (Genes) — التي تتكون كيميائياً من نيوكليوتيدات (Nucleo-tides) . وتمثل الجينات الأداة الوحيدة للوراثة وانتقال العوامل الوراثية من الآباء إلى الأبناء ، وهي تتكون من جزيئات منفردة أو من مجموعة صغيرة من الجزيئات .

(شكل ٣٩٩)



صورة فوتوغرافية لصبغيات خلية من خلايا الغدة اللعابية لذبابة الفاكهة ، وتبين انتظام أشرطة غليظة ورفيعة على الصبغي . وهذه الأشرطة — التي يرتبط موقعها بمواضع الوحدات الوراثية أو الجينات (Genes) متماثلة في جميع الصبغيات المتشابهة وراثيا .

وتدين نظرية الجين (Gene Theory) بوجودها إلى عالم الوراثة الأمريكى توماس ه. مورجان (Thomas H. Morgan) ، نتيجة لما أجراه من بحوث مستفيضة على ذبابة الفاكهة ، واستطاع أن يحدد ما يقرب من ٤٠٠ صفة متطفرة فى هذه الذبابة بالذات ، وأن يبين أن الجينات — الحاملة أو الموجهة لتلك الصفات — يمكن أن ترتبط فى أربع مجموعات ، تقابل أربعة أزواج من الصبغيات المتماثلة فى الخلايا الجرثومية لهذا النوع من الذباب ، ونجح مورجان ومعاونوه فى تحديد مواقع الجينات على الصبغيات ، وأظهرت تجاربهم إمكان عبور الجينات من صبغى ما إلى الصبغى المماثل له ، وأن الجينات المرتبطة مع بعضها البعض توجد على نفس الزوج من الصبغيات المتماثلة ، وأن مادة الصبغى هى التى تربط ما بين تلك الجينات .

وقد ثبت عملياً أن كثيراً من جينات الصفات المتوارثة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بصبغيات معينة ، بل بأجزاء خاصة من الصبغى ، ويكون كل جين مسئولا عن إظهار صفة وراثية ما ، ومن ثم فيمكن تعريف الجين بأنه دقيقة مادية لها القدرة على نقل صفة ما أو توجيه خصائصها من الجيل الحامل لها إلى ما يليه من أجيال .

وتختلف الجسيمات الصبغية فيما بينها — حجماً وشكلا وترتيباً — على نفس الصبغى . ويسيطر كل جين على صفة وراثية خاصة ، فمن الجينات ما تؤثر على الأطوال ومنها ما تؤثر على الألوان . ومنها ما تؤثر على عمليات فسيولوجية أو حيوية تقوم بها الكائنات . ولما كانت الصبغيات — فى كل نواة — توجد فى أزواج متماثلة فمن الطبيعى أن كل صبغيين متماثلين يحتويان على نفس العدد من الجينات المنظومة بنفس الترتيب . وتقع الجينات ذات الأحجام والأشكال المتشابهة فى المواقع المتقابلة للصبغيين المتماثلين (شكل ٤٠٠) .

ويوجد فى كل كائن حى نوعان من الخلايا :

١ — **خلايا جسدية** (Somatic cells) : هى الخلايا الموجودة فى جميع جسد الكائن والمسئولة عن تكوين الصفات .

(٢) خلايا جرثومية (Germ cells) :

هى الخلايا التى يقتصر وجودها على أعضاء خاصة من الجسد ، تعرف بالأعضاء التناسلية. وهى المسئولة عن انتقال الصفات من الآباء الى الأبناء .

(شكل ٤٠٠)



صبغيان متماثلان من صبغيات ذبابة الفاكهة ، متصلان على اليسار ومنفصلان على اليمين ، لتباين تشابه الجسيمات الصبغية عند المواضع المقابلة (عن شول) .

وتبدأ حياة كل كائن حى بخلية واحدة هى اللاقحة (Zygote) . وهى نتيجة التزاوج بين مشيج ذكرى وآخر أنثوى . وتنقسم اللاقحة وتتكاثر خلاياها عدة مرات لتكوين خلايا الجسد البالغ . وفى هذا النوع من الانقسام ينقسم كل صبغى طولياً إلى نصفين (Chromatids) وتنفصل كل مجموعة عن الأخرى . وبذلك تحتوى كل خلية جسدية على نفس عدد الصبغيات الموجودة فى اللاقحة الأصلية . ويعرف هذا النوع من الانقسام — الذى يجرى فيه تنصيف الصبغيات — بالانقسام غير المباشر أو الفتيلى (Mitosis) . وقد سبق شرحه بالتفصيل فى الباب الخاص بانقسام الخلية .

أما فى الخلايا التناسلية — وتتمثل فى النباتات بالخلايا الوالدة لحبوب اللقاح أو البويضات وفى الحيوانات بخلايا المبايض والخصى المنتجة للبويضات أو للحيوانات المنوية — فإن الصبغيات تجتمع عند الانقسام فى أزواج صبغية متماثلة . ويتخذ كل صبغى مماثل طريقه فى اتجاه مضاد لاتجاه الصبغى الآخر وبذلك يحتوى كل مشيج على نصف عدد الصبغيات الموجودة عادة فى الخلية الجسدية أو الخلية التناسلية الوالدة . ويعرف هذا النوع من الانقسام النووى بالانقسام الاختزالى (Meiosis) . وسنتحدث عنه فيما يلى بالتفصيل .

الانقسام الاختزالى

ذكرنا فى الجدول السابق (جدول ٣٦) أن كل نواة من أنوية الخلايا

الجسدية فى الإنسان تحتوى على ستة وأربعين صبغياً ، ويمثل هذا العدد المجموعة الثنائية (٢ ن) للصبغيات ، وأن هذه الصبغيات تتميز إلى مجموعتين متماثلتين ، كل مجموعة تتكون من ثلاثة وعشرين صبغياً ، ويمثل العدد الأخير المجموعة الأحادية (ن) للصبغيات . ولا بد لإتمام دورة حياة الإنسان من وجود نوع مميز من الانقسام النووى لتنصيف عدد الصبغيات أثناء تكوين الأمشاج الجنسية من الخلايا التناسلية . إذ أن الخلايا الأخيرة — مثلها كمثل غيرها من الخلايا الجسدية فى الإنسان — ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) . ويعرف هذا النوع من الانقسام النووى الذى يعمل على تنصيف عدد الصبغيات حين تكوين الأمشاج بالانقسام الاختزالى (Meiosis) ، بحيث يكون كل مشيج أحادى المجموعة الصبغية (Haploid) . حتى إذ حدث التزاوج فيما بعد باندماج مشيجين . أحدهما ذكرى (حيوان منوى) والآخر أنثوى (بيضة) . كانت نواة اللاقحة — الناتجة من اندماج نواتى المشيجين — ثنائية المجموعة الصبغية ، حتى إذا ما واصلت اللاقحة الانقسام فيما بعد لتكوين الجنين كانت كل خلية جسدية ثنائية المجموعة الصبغية .

أما فى النباتات فيحدث الانقسام الاختزالى عند تكوين الجراثيم فى الأرشيجونيات . وهى التى تعرف بحبوب اللقاح والخلايا البيضية فى البذريات ، فالخلايا الوالدة للجراثيم — مثلها كمثل الخلايا الجسدية فى النبات الجرثومى — ثنائية المجموعة الصبغية . وينتج عن الانقسام الاختزالى أثناء تكوين الجراثيم احتواء كل جرثومة ناتجة على نصف عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الجسدية أو الخلية الوالدة الجرثومية . ولما كانت الجراثيم تنبت لتعطى النباتات المشيجية التى تنتج بدورها الأمشاج . فتكون الأخيرة بذلك أحادية المجموعة الصبغية . بحيث إذا حدث تزاوج بين مشيجين مختلفى الجنس احتوت اللاقحة على نفس عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الجسدية ، وتنقسم اللاقحة بدورها انقساماً ميتوزياً عادياً لتعطى النبات الجرثومى ثنائى المجموعة الصبغية .

خطوات الانقسام الاختزالى :

ويشمل الانقسام الاختزالى انقسامين متتاليين ، الانقسام الأول — ويعرف أيضاً بالانقسام الميوزى الأول (First meiotic division) — وفيه تحتوى كل نواة من النواتين الناتجتين على نصف عدد الصبغيات الموجودة فى النواة الأصلية ، ولا تستقر النواتان الناتجتان فى طور سكون ، بل لا تلبث كل منهما أن تبدأ انقساماً تالياً يعرف بالانقسام الثانى ويعرف أيضاً بالانقسام الميوزى الثانى (Second meiotic division) ، وفيه تنقسم كل نواة ناتجة إلى نواتين بطريقة مماثلة تماماً لما يحدث فى الانقسام الميتوزى العادى ، وبذلك تنقسم كل نواة أصلية ثنائية المجموعة الصبغية إلى أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية كما هو مبين فى الخطوات الآتية :

(أولا) الانقسام الأول :

(١) **الطور التمهيدى الأول** (First prophase) : ويماثل هذا الطور نظيره فى الانقسام الفتيلى ، ولكنه يختلف عنه من حيث بقائه لفترة أطول عند الابتداء ومن حيث أن الصبغيات لا تبدى أى ازدواج ، والنواة الأصلية تكون ثنائية المجموعة الصبغية ، بمعنى احتوائها على مجموعتين متماثلتين من الصبغيات ثم تمر الصبغيات بالمراحل التالية :

(ا) **المرحلة القلادية أو اللبتوتين** (Leptotene) : وفيها تبدو الصبغيات كخيوط طويلة للغاية ورفيعة (شكل ٤٠١ : ١) ، تنتظم عليها انتفاخات مختلفة الأحجام ، فيشبه كل صبغى بذلك قلادة مرصعة بالكروموميرات (Chromomeres) .

(ب) **المرحلة الإزدواجية أو الزايجوتين** (Zygotene) : وفيها يأخذ كل صبغى فى التزاوج بالصبغى المماثل له (شكل ٤٠١ : ٢) .

(ح) **المرحلة الضامة أو الباكيتين** (Pachytene) : وفيها يلتف كل صبغى حول الصبغى المماثل له (شكل ٤٠١ : ٣) .

(د) **المرحلة الأنفراجية أو الديبلوتين** (Diplotene) : وفيها ينقسم كل صبغي مماثل إلى نصفى صبغي (Chromatids) ، كما فى شكل (٤٠١ : ٤) ، ويحدث الانفراج بين نصفى أحد الصبغيين من جهة ونصفى الصبغي المماثل له من جهة أخرى ، ويصل هذا الانفراج إلى ذروته فى هذه المرحلة ، وتأخذ الصبغيات فى التقلص حجماً والازدياد سمكاً .

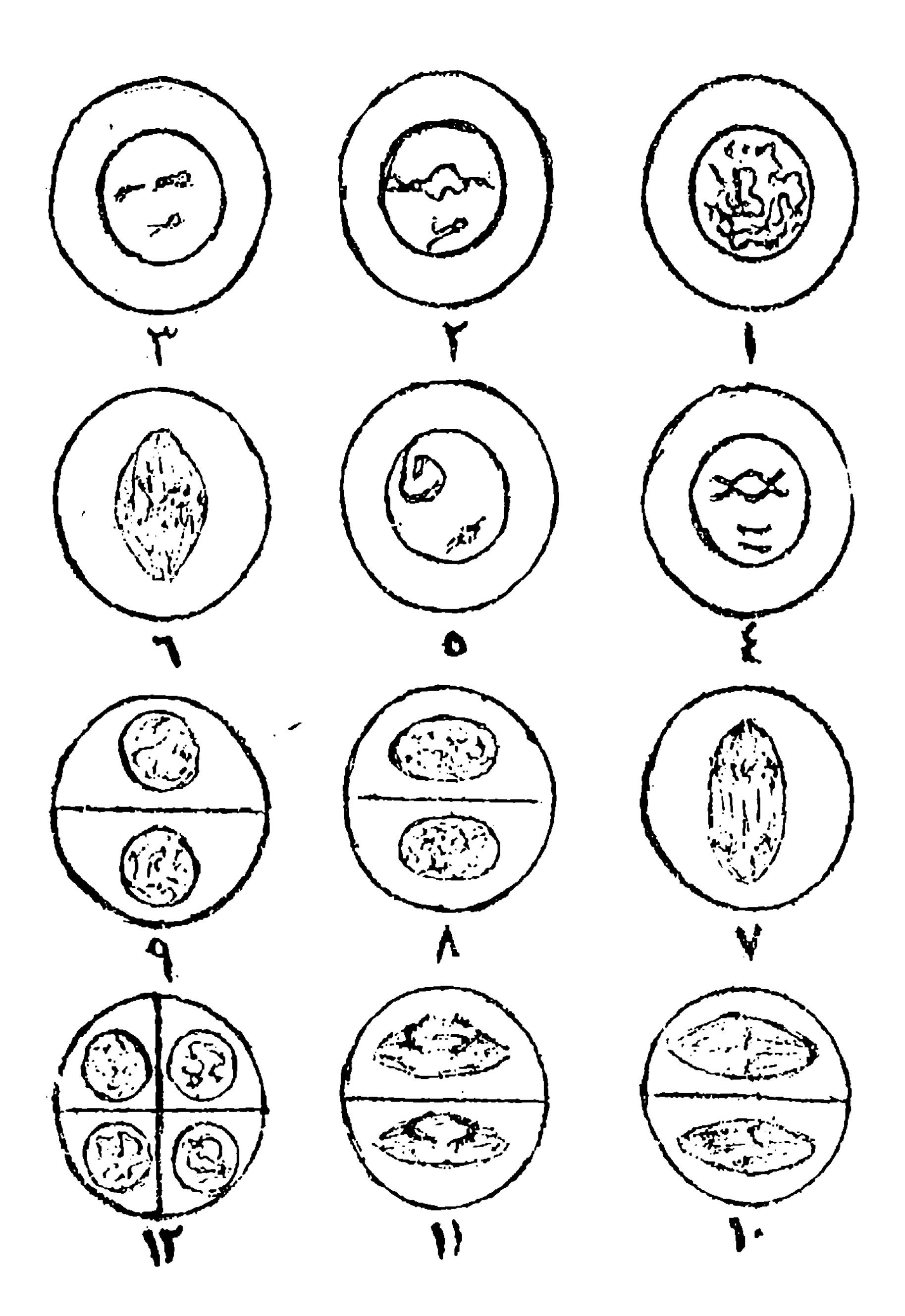
(هـ) **المرحلة التشتيتية أو الدياكاينيسس** (Diakinesis) : وفيها يزداد قصر وسمك الثنائيات الصبغية المتماثلة ، وتظهر منتشرة فى تجويف النواة ، وتتصل صبغيات كل ثنائى بتصالب طرفى بينما تختفى التصالبات الأخرى غير الطرفية (شكل ٤٠١ : ٥) .

٢ — **الطور الاستوائى الأول** (First metaphase) : تختفى النوية والغشاء النووى ، وتتحرر الصبغيات من داخل النواة لتنتشر فى الخلية ذاتها . ثم تتكون الخيوط المغزلية — المنبعثة من كل قطب — وتصطف المثانى الصبغية المتماثلة (Bivalents) فى المستوى الاستوائى للخلية (شكل ٤٠١ : ٦) ويتكون كل مثنى صبغي من صبغين متماثلين أو أربعة أنصاف صبغية ، (Chromatids) ويربط كل نصفى صبغي متماثل سنترومير (Centromere) ، ومن الطبيعى أن عدد المثانى الصبغية المتماثلة يساوى نصف عدد الصبغيات فى الخلية .

٣ — **الطور الانفصالى الأول** (First anaphase) : يأخذ صبغياً كل مثنى صبغي فى التحرك فى اتجاهين متضادين ، كل نحو قطب من قطبي الخلية : تشده الخيوط المغزلية فى منطقة السنترومير (٤٠١ : ٧) . وبذلك يستقبل كل من قطبي المغزل صبغياً متماثلا واحداً من كل مثنى صبغي ، أى يستقبل نصف عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الأصلية .

٤ — **الطور النهائى الأول** (First telophase) : يتكون غشاء نووى حول كل قطب . فتنتج بذلك نواتان بنويتان (شكل ٤٠١ : ٨) تحتوى كل منهما على نصف عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الأصلية .

(شكل ٤٠١)



الانقسام الاختزالي في النباتات : (١ — ٥) خطوات الطور التمهيدي الأول لتبيان المراحل القلادية والازدواجية والضامة والانفراجية والتشتيتية ، (٦) الطور الاستوائي الأول ، (٢) الطور الانفصالي الأول ، (٨) الطور النهائي الأول ، (٩) الطور التمهيدي الثاني ، (١٠) الطور الاستوائي الثاني ، (١١) الطور الانفصالي الثاني ، (١٢) الطور النهائي الثاني .

(ثانياً) الانقسام الثانى :

تنقسم كل نواة بنوية إلى نواتين بطريقة مشابهة لما يحدث فى الانقسام الفتيلى العادى ، حسب الأطوار الآتية :

٥ — **الطور التمهيدى الثانى** (Second prophase) : تبدو الصبغيات مرة أخرى طويلة ورفيعة (شكل ٤٠١ : ٩) ولكن عددها يكون نصف العدد الموجود فى الطور التمهيدى الأول .

٦ — **الطور الأستوائى الثانى** (Second metaphase) : يتكون مغزلان فى مستويين عموديين — فى حالة تكوين حبوب اللقاح — على مستوى المغزل الذى تكون فى الطور الاستوائى الأول ، وتنتظم صبغيات كل نواة فى المستوى الاستوائى لكل مغزل على حدة (شكل ٤٠١ : ١٠) .

٧ — **الطور الأنفصالى الثانى** (Second anaphase) : ينفصل نصفا كل صبغى متماثل فى منطقة السنترومير ، ويتحرك النصفان فى اتجاهين متضادين كل نحو قطب من قطبى الخلية (شكل ٤٠١ : ١١) .

٨ — **الطور النهائى الثانى** (Second telophase) : تتجمع عند كل قطب مجموعة من أنصاف الصبغيات المتماثلة ، لتصبح هى ذاتها صبغيات النواة الجديدة . ويحتوى كل قطب بذلك على نصف عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الجرثومية الأصلية ، ويتكون غشاء نووى (شكل ٤٠١ : ١٢) ، وبذلك تنقسم النواة الأصلية إلى أربع أنوية بنوية ، وتكون الأخيرة أنوية الأمشاج فى الحيوان أو أنوية حبوب اللقاح والبويضات فى النبات .

ويعرف العدد المختزل من الصبغيات — أو نصف عدد الصبغيات — فى الأمشاج أو الأبواغ أو حبوب اللقاح بالعدد المشيجى (Gametic number) ويقال للمشيج أو البوغ أو حبة اللقاح إنها « أحادية المجموعة الصبغية» ، (Haploid) . كما يعرف العدد المختزل من الصبغيات بعدد المجموعة الأحادية (Haploid number) ويرمز له عادة بالرمز (ن) ، أما عدد الصبغيات فى الخلية الجسدية — قبل الاختزال إلى النصف — فيعرف بالعدد الصبغى الجسدى

النظريـة الصبغيـة

أماط اكتشاف المجهر — وما تبع ذلك من تقدم مستمر فى علم الخلية (Cytology) — اللثام عن ماهية المادة الخلوية المسئولة عن انتقال الصفات الوراثية من الأجداد والأباء إلى الأبناء والأحفاد ، إذ وجد أنه إذا صبغنا النواة بأحد الأصباغ التى تبرز تفاصيلها وتظهر مفرداتها ، فإنها لا تصطبغ جميعها بدرجة متساوية ، بل تتميز بداخلها بعض جزيئات دقيقة — تكون عادة مستطيلة — تلتهم الصبغ بشراهة أكثر مما عداها من أجزاء داخلية للنواة التى تكون عادة باهتة الاصطباغ ، ولذلك سميت هذه الجزيئات الشديدة الشراهة للأصباغ باسم الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ومعناه « الأجسام الملونة » وهذه الخاصية فى الصبغيات تشبه تماماً خاصة الاصطباغ فى مادة تعرف باسم الصبغين أو الكروماتين (Chromatin) . تحتوى على الحمض النووى (Nucleic acid) . ومن مميزات هذا الحمض احتفاظه بالألوان ذات الطبيعة الكيميائية القاعدية . ونواة الخلية — بما تحتوى بداخلها من صبغيات أو كروموسومات — هى المختصة بالوراثة . ويفصل النواة عن سيتوبلازم الخلية غشاء نووى ، توجد بداخله شبكة من مادة الصبغين وسائل نووى . كما قد يوجد بداخله أيضاً جسم كروى —أو جسمان— يسمى النوية (Nucleolus) . والنواة — والشبكة الصبغينية على وجه الخصوص — هى أهم جزء فى الخلية من الوجهة الوراثية والحيوية . إذ تحمل الخيوط الصبغينية (Chromatin threads) الوحدات الوراثية التى تحدد العوامل التى يرثها الابن عن الأبوين . سواء أكان نباتاً أو حيواناً أو إنساناً . والشبكة الكروماتينية أو الصبغينية تمثل حالة النواة فى طور السكون . أما فى حالة انقسام الخلية فتنفصل الشبكة الصبغينية إلى عدد ثابت من أجسام عصوية الشكل أو صبغيات . وكل كائن حى تحتوى نواة الخلية فيه — وتستوى فى ذلك جميع الخلايا الجسدية — على عدد ثابت من الصبغيات ، إلا أن عددها يختلف باختلاف الكائنات ، حتى أنه كثيراً ما يمكن معرفة نوع النبات

أو الحيوان من عدد الصبغيات التى تظهر فى النواة المنقسمة لأية خلية (جدول ٣٦) .

وتختلف الصبغيات — فى نواة كل خلية — فيما بينها من حيث الشكل والحجم والترتيب ، إلا أنها توجد فى أزواج متماثلة ، بمعنى أن لكل صبغى صبغياً مماثلا (Homologous chromosome) ، فتوجد مثلا فى كل خلية من خلايا نبات القمح أربعة عشر صبغياً ، تنتظم فى سبعة أزواج من الصبغيات المتماثلة ، وفى ذبابة الفاكهة ثمانية صبغيات تنتظم — من حيث التماثل — فى أربعة أزواج ، وهكذا دواليك .

(جدول ٣٦)

عدد الصبغيات فى عدة كائنات — من إنسان وحيوان ونبات — حيث تمثل المجموعة الثنائية بالرمز (٢ن) والمجموعة الأحادية بالرمز (ن) ، ويدل الرمز الأخير أيضاً على عدد الصبغيات المتماثلة (Homologous chromosomes).

الكائن	(٢ ن)	(عدد أزواج الصبغيات المتماثلة)
الإنسان	٤٦	٢٣
الأرنب	٤٤	٢٢
الفأر	٤٠	٢٠
ذبابة الفاكهة	٨	٤
دودة الاسكاريس	٤	٢
الذرة	٢٠	١٠
البسلة	١٤	٧
الفول	١٢	٦

وإذا فحصنا الصبغيات فى المراحل الأولى للإنقسام الميوزى للنواة بقوة أكثر تكبيراً لاستطعنا أن نتبين فيها بعض حبيبات أدكن مما يجاورها

(أ) أحجامها شبيهة بأحجام الفيروسات .

(ب) تركيبها الكيميائى من بروتينات نووية .

(حـ) لها القدرة على التكاثر الذاتى إلى مالا نهاية .

تشابه وتباين اللواقح : فى حالة تشابه اللاقحة — أو السلالة النقية — تتشابه جميع الجينات المتقابلة فى كل صبغيين متماثلين ، ولكن تختلف الجينات المتجاورة شكلا وحجماً . فإذا رمزنا لهذه الجينات المتجاورة بالحروف (أ — ز) فيمكن تمثيل انتظامها على الصبغين المتماثلين كما يأتى :

صــــبغى) ←(ا) (ب) (ج) (د) (هـ) (و) (ز)

| — | — | — | — | — | — |

صبغى متماثل) ←(ا) (ب) (ج) (د) (هـ) (و) (ز)

أما فى حالة تباين اللاقحة — أو الهجين الأحادى (Monohybrid) فتوجد بعض الجينات فى ثنائيات متماثلة وتوجد أخرى فى ثنائيات متباينة التأثير (شكل ٤٠٣) .

(شكل ٤٠٣)

رسم تخطيطى لصبغين متماثلين متباينى اللاقحة ، أحدهما أبوى والآخر أموى ، ويبين مواجهة الجينات المتماثلة على امتداد طول الصبغيين (عن شول) .

فى الشكل توجد الجينات المتقابلة الآتية فى ثنائيات متماثلة (ب ب) ، (ص ص) ، (ى ى) ، (حـ حـ) . (ق ق) . (ض ض) و (خ خ) ، وتكون الجينات المتقابلة المتماثلة إما سائدة (ب ب مثلا) وإما متنحية (حـ حـ مثلا) . أما الجينات المتقابلة المتباينة التأثير فتتمثل فى الأزواج الجينية الآتية : (ج جـ) ، (ك ك) ، (لـ ل) ، (م مـ) ، (ز ن) ، (س سـ) ، (ع ع) ، (ذ ف) ، (ت تـ) ، (ش ش) ، بمعنى أن الشق الأول من كل زوج جينى إذا كان يمثل صفة سائدة فإن الشق الثانى يدل على الصفة المتضادة المتنحية ، والعكس بالعكس .

الباب الثاني والأربعون

التطبيقات العملية للقوانين المندلية

لعل من أهم التطبيقات العملية لقوانين الوراثة المندلية ما وجد فى النباتات من أن قابليتها للإصابة بالأمراض الفطرية أو مناعتها ضد هذه الأمراض هما عاملان وراثيان يخضعان للقوانين المندلية . وأولى التجارب فى هذا المضمار ما قام به الأستاذ بيفين (Biffen) عام ١٩٠٥ من تهجين صنفين من نبات القمح ، أحدهما مقاوم لمرض الصدأ الأصفر — المسبب عن الفطر « باكسينيا جلومارام » (Puccinia glumarum) — والآخر قابل للإصابة به ، ووجد أن جميع أفراد الجيل الأول قابلة للإصابة بالمرض ، فقابلية الإصابة فى هذه الحالة صفة سائدة على المقاومة . فإذا ما حدث تهجين ذاتى بين أفراد الجيل الأول ، كان نتاج الجيل الثانى كالآتى : ¾ الأفراد قابلة للإصابة بالمرض والربع الباقى مقاوم للمرض ، وبذلك وضع بيفين أول خطوة لإثبات أن قابلية الإصابة أو المقاومة للمرض هما عاملان وراثيان يخضعان للقوانين المندلية .

وجاء من بعده ملشرس (Melchers) وغيره من علماء الوراثة فأثبتوا أن المقاومة لأمراض الأصداء أو القابلية للإصابة بها تتوقف على عامل أو أكثر من عوامل الوراثة المندلية ، وعند تهجين صنفين من القمح — أحدهما مقاوم لمرض الصدأ الأسود والآخر قابل للإصابة به — وجد أن مقاومة المرض هى الصفة السائدة والقابلية للإصابة به هى الصفة المتنحية . وكذلك وجد فى أصناف الكتان أن صفة المقاومة ضد مرض الصدأ تسود صفة القابلية للإصابة بالمرض .

وقد استطاع بيفين — باستغلاله للقوانين المندلية — أن ينتج صنفاً جديداً من القمح تتمثل فيه كل الصفات التجارية المرغوب فيها ، من حيث جودة

الصنف ووفرة المحصول والمناعة ضد أمراض الأصداء الفطرية . وقام من بعده مربو النباتات فى كندا باستنباط صنف القمح المسمى « ماركيز » (Marquis) بتهجين النوع الذى كان شائعاً حينذاك — وهو « الرد فايف » (Red five) — بصنف هندى مبكر النضج يسمى « كلكتا أحمر » (Red calcuta) فنتج صنف ماركيز مماثل للردفايف من حيث جودة الصنف ووفرة المحصول ، وفى الوقت ذاته أكثر منه تبكيراً فى النضج — وهى صفة مشتقة من « كلكتا أحمر » — بنحو أسبوع ، ولذلك حل « الماركيز » محل « الرد فايف » فى جميع المناطق الزراعية التى كانت تميل لزراعة الصنف الأخير . وقد توالت من بعد ذلك التجارب التهجينية لزيادة التبكير فى النضج من الماركيز ، مثل أصناف الروبى والبريليود والجارنييت وغيرها من الأصناف .

وقد يستعان بتهجين الأصناف البرية من بعض النباتات مع أصناف مزروعة تجارية — من نفس جنس النبات — إما تحسيناً للصنف أو لإنتاج سلالات جديدة مقاومة للأمراض ، ومن أمثلة ذلك ما وجد من أن معظم نباتات البطاطس المزروعة التجارية قابلة للإصابة بمرض اللفحة (Blight) — المسبب عن الفطرة « فيتوفثورا » (.Phytophthora sp) — بينما توجد أصناف من البطاطس تنمو برياً وتقاوم ذلك المرض . ولأصناف البطاطس البرية درنات رديئة لا يمكن استغلالها تجارياً . وعند تهجين أصناف البطاطس البرية رديئة الدرنات المقاومة للمرض بالأصناف المزروعة جيدة الدرنات والقابلة للإصابة بالمرض ، كان أفراد الجيل الأول جميعها جيدة الدرنات مقاومة للمرض . فى هذه الحالة تسود صفة جودة الدرنات على رداءتها ومقاومة المرض على قابلية الإصابة به ، وتتوزع الصفات بين أفراد الجيل الثانى حسب القوانين المندلية العادية ، مما يتيح الفرصة للمربين — بوساطة التلقيح الذاتى بين بعض أفراد الجيل الثانى النقية لصفتى جودة الدرنة ومقاومة المرض — لإنتاج سلالة جديدة تجمع بين الصفات التجارية المطلوبة والمقاومة للمرض .

الانتخاب الفردى فى النباتات

بعد ما استبانت التطبيقات العملية للقوانين المندلية ظهرت الصلة الوثيقة بين طبيعة توارث الصفات ونظرية السلالة النقية (Pure line) لجوهانسن (Johannsen) ، وتقوم هذه النظرية على أساس أن النباتات إذا لقحت ذاتياً – وحوفظ على عدم الخلط بينها مع دوام الانتخاب – نتج عنها أفراد متماثلة التركيب الوراثى ، ومن النقاوة بحيث لا يجدى فيها بعد ذلك استمرار الانتخاب ، وهذا هو الهدف الذى تصبو إليه أنظار المشتغلين بتربية النباتات .

ومن النتائج الهامة التى أدى إليها الانتخاب الفردى الوصول إلى إيجاد سلالات من القطن مقاومة لتأثير حشرة « الكلوريتا فاسياليس » **(Chlorita fascialis)** ، وهى حشرة كانت تفتك فتكاً ذريعاً بنباتات القطن فى بعض الأقطار الافريقية ، حتى كادت تقضى على زراعته التى أصبحت غير مربحة من الوجهة التجارية . ولكن ظهور نبات واحد مقاوم للإصابة بتلك الحشرة بين عدة نباتات شديدة القابلية للإصابة به لفت الأنظار ، وكان بمثابة نقطة تحول للتخلص من هذه الآفة الحشرية وازدهار زراعة الأقطان فى هذه الأقطار ، إذ عزل النبات ولقح تلقيحاً ذاتياً وتكررت زراعته لعدة سنوات ، فبرهن نتاجه على احتفاظه بصفة المقاومة للآفة الحشرية وثبوت ما به من صفات تجارية ، حتى أدى ذلك فى النهاية إلى إكثاره وإيجاد سلالة نقية منه تبوأت مركزاً ممتازاً لدى زراع الأقطان بتلك الاقطار .

وقد أمكن بتطبيق نظرية الانتخاب الفردى للنباتات – وإجراء التلقيح الذاتى فيما بينها – زيادة نسبة السكر فى البنجر ، ففى بنجر السكر الذى استمر فيه الانتخاب الفردى نحو مائة عام ارتفعت نسبة السكر من ٩ ٪ إلى حوالى ١٨ ٪ .

ويوجد بمصر مثالان يبرزان أهمية الانتخاب الفردى للنباتات واستغلال عمليات التهجين ، أحدهما بالنسبة للقمح والآخر بالنسبة للقطن . فقد أدت

تجارب الانتخاب الفردى بين نباتات القمح إلى انتخاب صنف (قمح بلدى ١١٦) من بين أصناف القمح البلدى (Triticum pyramidale) ، يمتاز بشدة مقاومته لأمراض الصدأ الأسود والتفخم مع وفرة المحصول .

أما فى حالة القطن ، فقد أمكن — باستغلال عمليات التهجين والانتخاب الفردى للنباتات — إنتاج سلالات جديدة أوفر محصولا من الأصناف المعروفة ، كما تمتاز عنها بقدرتها على مقاومة مرض الذبول المسبب عن أنواع من فطرة الفيوزاريم (Fusarium spp) .

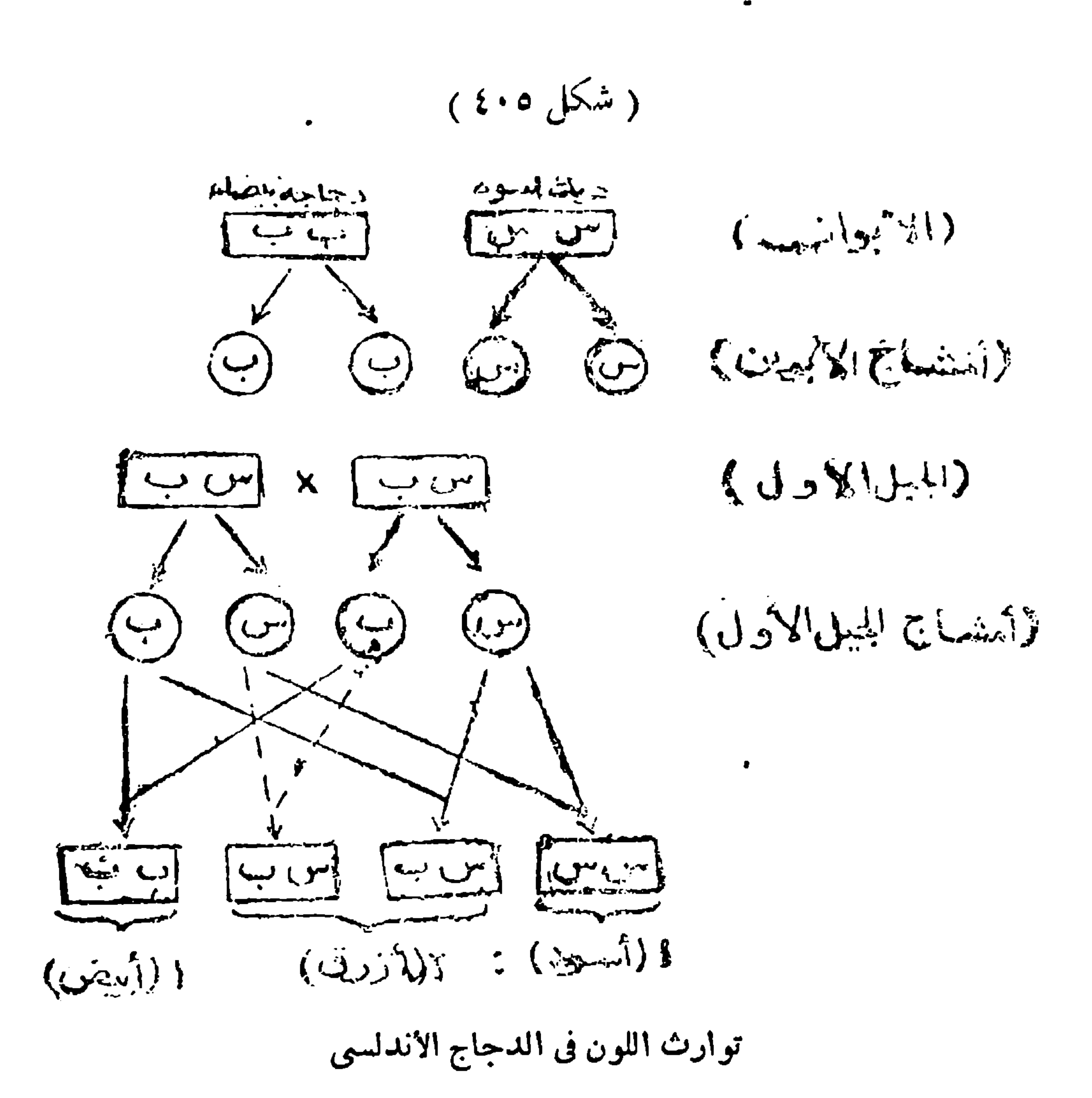
ولم تقتصر التطبيقات العملية للقوانين المندلية على تحسين أنسال النبات ، بل امتد نطاقها أيضاً ليشمل الحيوانات . فمن الصفات المرغوب فيها مثلا عند المشتغلين بتربية الدواجن أن يكون حجم البيض فى الدجاج كبيراً وأن يكون إنتاجه وفيراً ، فازدياد عدد البيض وحجمه صفتان بارزتان من الصفات التجارية المرغوب فيها ، كما توجد صفات أخرى يتطلبها المربى مثل كبر حجم الدجاج ومناعته ضد الأمراض ، ويلجأ المربون إلى تنمية هذه الصفات بالتهجين تارة وبالانتخاب تارة أخرى .

وقد استغلت قوانين الوراثة فى الإقليم المصرى لتحسين أصناف الكثير من السلالات الحيوانية . فقد أمكن بتهجين الأبقار الفريزيان — المستوردة من الخارج — بالأبقار الدمياطية للحصول على هجن (Hybrids) تجمع بين ميزة الادرار العالى للبن كأبقار الفريزيان وبين احتمال ظروف البيئة المصرية كالأبقار الدمياطية . وكان من نتائج تهجين النعاج الأوسيمية المصرية بكباش السافولك (Suffolk) والهامبشير — وهى كباش مستوردة — زيادة كبيرة فى سرعة النمو واختفاء الذنب وتوزيع الدهن خلال اللحم بدلا من تراكمه ، وهو ما يسمى باللحم المرمرى ، وأصبحت أوزان الأغنام الخليط تزيد عن الأغنام الأوسيمية بنسبة ٤٠ ٪ فى الستة شهور الأولى ، كما تضاعفت كمية الصوف وتحسن صنفه ، وأمكن أيضاً إنتاج سلالات نقية وفيرة اللحم غزيرة البيض من الدجاج الفيومى والرومى والبط والأوز والأرانب.

ولم يقتصر تطبيق القوانين المندلية على النبات والحيوان فحسب ، بل تطلعت بعض الأمم إلى إمكان تطبيقها على الإنسان ، لإنتاج سلالة بشرية تجمع بين ذكاء العقول وجمال الأجسام . وكان من بين الاقتراحات لإنتاج هذه السلالة البشرية الممتازة اقتراح ما يعرف بالزواج الموجه (Directed marriage) ، الذى يمكن تلخيصه فى أن الزواج بين الأفراد لا يتم فقط نتيجة لنزعات الراغبين والراغبات ، بل تتحكم الدولة فيه بأن يترك للاخصائيين الوراثيين من رجال الدولة دراسة الصفات العائلية الوراثية لكل من الزوجين قبل الارتباط ، كما يقومون بدراسات على مستوى الذكاء واكتمال الأجسام . فإن كانت نتائج هذه الدراسات تنبىء بإنتاج جيل قويم تم الزواج ، وإلا حالت دون إتمامه . ولكن لم يقدر للزواج الموجه النجاح بسبب استحالة التحكم فى العواطف البشرية ، وغاية ما تستطيع أن تقوم به بعض الحكومات هو تعقيم المشبوهين والمجرمين وذوى العاهات والأمراض المستعصية حتى يستطيعوا الزواج دون إنتاج أطفال ، لكى لا ينتجوا نسلا ضعيفاً مريضاً مشوهاً ناقص الذكاء .

زرقاء ، فلا هى بالسوداء ولا هى بالبيضاء ، وعند التزاوج الذاتى بين أفراد الجيل الأول زرقاء اللون نتج جيل ثانى كانت النسبة العددية بين أفراده كالآتى : (١ أسود : ٢ أزرق : ١ أبيض) فإذا رمزنا لصفة السواد بالعامل الوراثى (س) ولصفة البياض بالعامل الوراثى (ب) أمكن تتبع التوارث حتى الجيل الثانى حسب ما هو مبين فى (شكل ٤٠٥) :

(شكل ٤٠٥)



توارث اللون فى الدجاج الأندلسى

ويتبين بوضوح من حالة السيادة المشتركة فى توارث لون الدجاج الأندلسى أن التفاعل بين صفتين تتساويان فى السيادة — وهما صفتا السواد والبياض — ينتج عنه ظهور صفة ثالثة هى الزرقة ، التى تعد وسطاً بين الصفتين ، مما جعل هناك تطابقاً بين النسبة العددية للطرز المظهرية والجينية ، فالنسبة العددية فى كليهما هى (١ : ٢ : ١) .

وبجانب السيادة المشتركة الناتجة عن تداخل العوامل أو تفاعلها - كما هو مبين فى حالتى نبات شب الليل والدجاج الأندلسى - توجد عوامل أخرى تسبب اختلال الطرز المظهرية - حسب القوانين المندلية - وهذه العوامل هى

(ا) العوامل المكملة (Complementary factors) .

(ب) العوامل المتفوقة أو فوق الاستاتيكية (Epistatic factors) .

(ج) العوامل المانعة (Inhibitory factors) .

(د) العوامل المزدوجة (Duplicate factors) .

(ه) العوامل المميتة (Lethal factors) :

وسنتحدث عن كل واحدة من هذه العوامل على حدة .

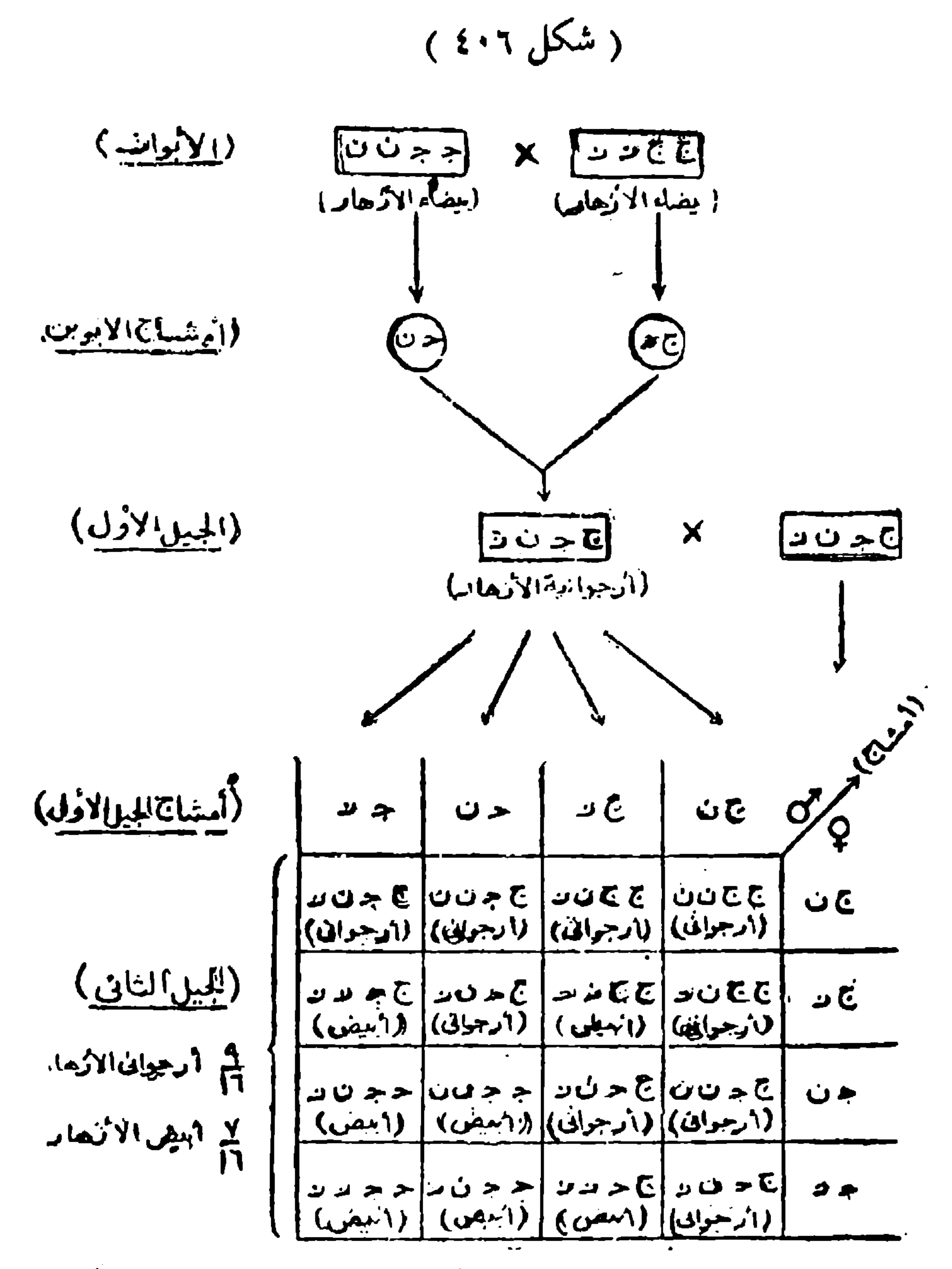
العوامل المكملة :

يرجع اكتشاف تأثير العوامل المكملة إلى التجارب التى قام بها العلامة باتيسون (Bateson) - عام ١٩٠٥ - على نبات البازلاء ، حيث ميز بين صنفين من هذا النبات ، أحدهما يحمل أزهاراً بيضاء وحبوب لقاحه مستديرة ويحمل الآخر أزهاراً بيضاء أيضاً ولكن حبوب لقاحه مستطيلة . وعند التهجين بين الصنفين ظهرت جميع أفراد الجيل الأول أرجوانية الأزهار ، وظهرت نباتات الجيل الثانى أرجوانية وبيضاء بنسبة (٩ : ٧) ، ويستدل من مجموع الرقمين وهو (١٦) على وجود زوجين من الصفات المتضادة ، حول النسبة المعروفة (٩ : ٣ : ٣ : ١) إلى (٩ : ٧) .

وقد افترض لتفسير ذلك أن اللون الأرجوانى ناتج عن التفاعل بين عاملين مكملين سائدين ، ولنرمز لأحدهما بالرمز (ج) وللآخر بالرمز (ن) ، والعاملان المتنحيان لهما هما على التوالى (ج) و (نـ) فالأبوان (شكل ٤٠٦) ذو الأزهار البيضاء يحتوى كل منهما على عامل سائد واحد (ج ج أو ن ن) . أما أفراد الجيل الأول - وتركيبها الوراثى (ج ج ن نـ) - فتكون أرجوانية الأزهار لتفاعل العاملين السائدين ووجودهما معاً ، ومن ثم فتكون نسبة

الطرز المظهرية لأفراد الجيل الثانى هى : (٩ نباتات أرجوانية الأزهار : ٧ نباتات بيضاء الأزهار) كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

(شكل ٤٠٦)

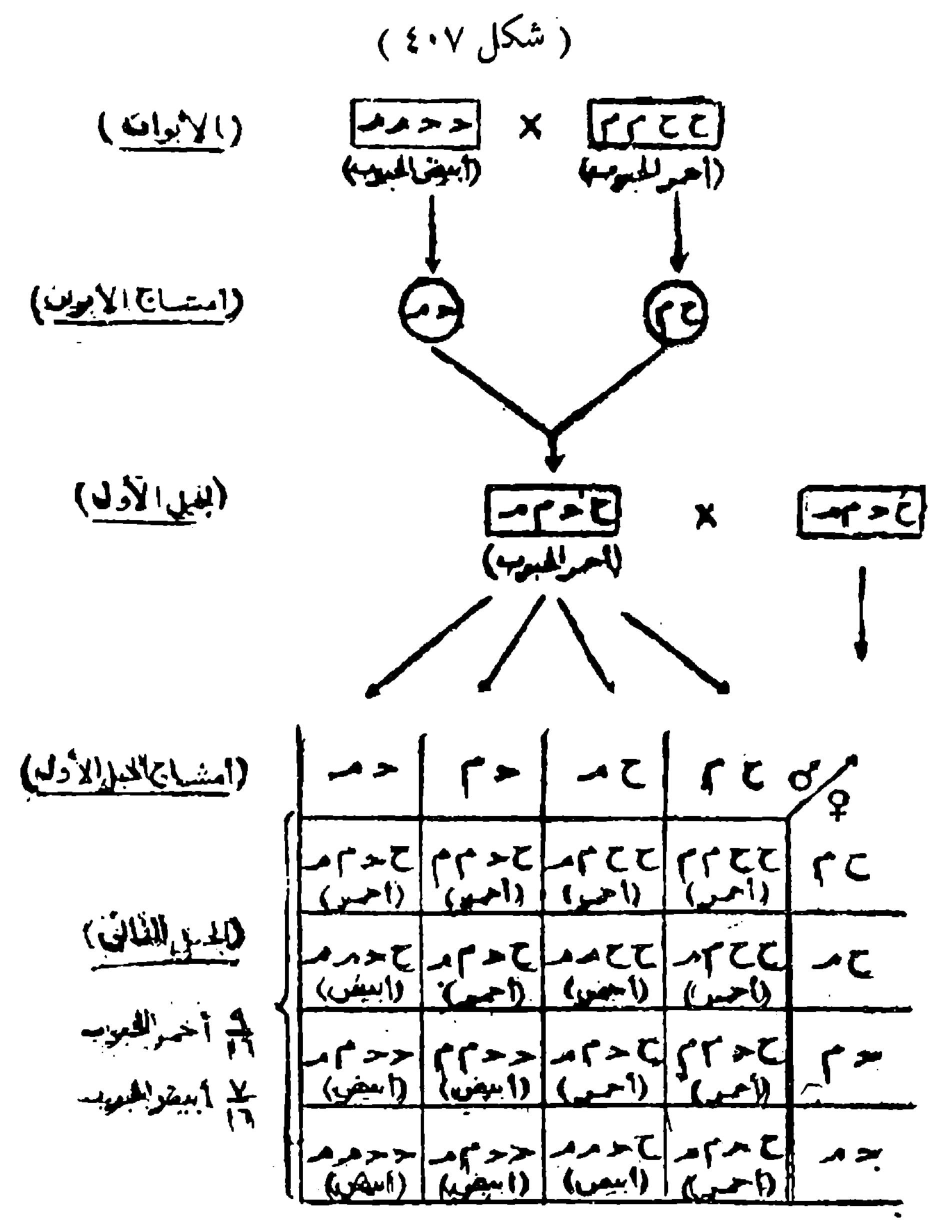


رقعة شطرنجيه تبين نسبة (٩ : ٧) بين أفراد الجيل الثانى نتيجة وجود عاملين مكملين لانتاج اللون الارجوانى فى نبات البازلاء .

وقد حصل العلامة إيست (East) على النسبة ذاتها عند التهجين بين نبات ذرة أحمر الحبوب وآخر أبيض الحبوب ، فظهرت نباتات الجيل الأول جميعها حمراء الحبوب ، وعلى ذلك أصبح مترقباً الحصول فى الجيل الثانى

على النسبة المعتادة وهى : (٣ نباتات حمراء الحبوب : ١ نبات أبيض الحبوب) . ولكن النسبة الفعلية التى ظهرت كانت (٩ نباتات حمراء الحبوب : ٧ نباتات بيضاء الحبوب) ، ولا تتفق هذه النسبة فى ظاهرها مع قوانين مندل. كما أنها تدل على وجود زوجين من الصفات المتضادة. ولكن عند افتراض احمرار الحبو نتيجة وجود عاملين سائدين مكملين ظهرت مطابقة النسبة الأخيرة لقوانين مندل ، فإذا رمزنا للعاملين المكملين السائدين لإظهار احمرار الحبوب بالرمزين (ح) و (م) — كما فى شكل (٤٠٧) — والعاملين المتنحيين لهما بالرمزين : (ﺣ) و (ﻣ) على التوالى فإن الأب أحمر الحبوب

(شكل ٤٠٧)



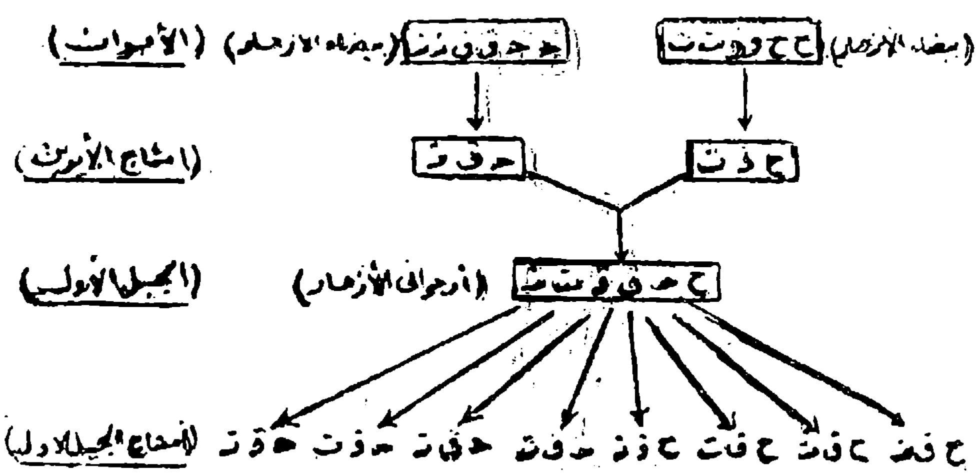
العوامل المكملة كما تظهر عند التهجين بين نبات ذرة احمر الجبوب وآخر أبيض الحبوب .

يكون تركيبه الوراثى (ح ح م م) ، وهو أحمر الحبوب لوجود العاملين السائدين وتفاعلهما معاً . أما الأب الآخر فيكون أبيض الحبوب لغيابهما وتركيبه الوراثى هو (ـح ـح ـم ـم) . أما أفراد الجيل الأول — وتركيبها الوراثى (ح ـح م ـم) — فتكون حمراء الحبوب بسبب وجود العاملين المكملين معاً . وتكون نسبة أفراد الجيل الثانى حمراء الحبوب إلى الأفراد بيضاء الحبوب هى (٩ : ٧) ، كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

العوامل المتفوقة :

وجد فى بعض النباتات أن التهجين بين أبوين يحمل كل منهما أزهاراً بيضاء ، ينتج عنه جيل أول من أفراد جميعها أرجوانية الأزهار . فإذا حدث تلقيح ذاتى بين أفراد الجيل الأول نتجت النسب الآتية من الطرز المظهرية لأفراد الجيل الثانى (شكل ٤٠٨) .

(شكل ٤٠٨ : ا)



تأثير العوامل فوق الأستاتيكية على الصفة الناتجة من تفاعل العاملين المكملين (ح) و (ف) ، الذى ينتج عن وجودهما معاً إنتاج أزهار حمراء ، ما لم يوجد عامل فوق استاتيكى سائد — رمز له بالرمز (ث) — يعمل على تحويل اللون الأحمر الى لون أرجوانى . ويرى فى (أ) نتيجة التزاوج بين أبوين يحملان أزهاراً بيضاء ، وتكون جميع أفراد الجيل الأول أرجوانية الأزهار لوجود العاملين المكملين (ح) و(ف) مع العامل فوق الاستاتيكى (ث) . كما ترى أيضاً الأمشاج المتكونة من الجيل الأول . وترى فى (ب) رقعة شطرنجية تبين مختلف الطرز المظهرية والجينية لأفراد الجيل الثانى (فى الصفحة التالية)

(شكل ٤٠٨ : ب)

♀ / ♂	ح ق ت	ح ق تـ	ح قـ ت	ح قـ تـ	حـ ق ت	حـ ق تـ	حـ قـ ت	حـ قـ تـ
ح ق ت	ح ح ق ق ت ت (أرجوانية)	ح ح ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح ح ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح ح ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق ق ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)
ح ق تـ	ح ح ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح ح ق ق تـ تـ (حمراء)	ح ح ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح ح ق قـ تـ تـ (حمراء)	ح حـ ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق ق تـ تـ (حمراء)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ تـ تـ (حمراء)
ح قـ ت	ح ح ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح ح ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح ح قـ قـ ت ت (بيضاء)	ح ح قـ قـ ت تـ (بيضاء)	ح حـ ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ قـ قـ ت ت (بيضاء)	ح حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)
ح قـ تـ	ح ح ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح ح ق قـ تـ تـ (حمراء)	ح ح قـ قـ ت تـ (بيضاء)	ح ح قـ قـ تـ تـ (بيضاء)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ تـ تـ (حمراء)	ح حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)	ح حـ قـ قـ تـ تـ (بيضاء)
حـ ق ت	ح حـ ق ق ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	حـ حـ ق ق ت ت (بيضاء)	حـ حـ ق ق ت تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت ت (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت تـ (بيضاء)
حـ ق تـ	ح حـ ق ق ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق ق تـ تـ (حمراء)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ تـ تـ (حمراء)	حـ حـ ق ق ت تـ (بيضاء)	حـ حـ ق ق تـ تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ تـ تـ (بيضاء)
حـ قـ ت	ح حـ ق قـ ت ت (أرجوانية)	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ قـ قـ ت ت (بيضاء)	ح حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت ت (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت تـ (بيضاء)	حـ حـ قـ قـ ت ت (بيضاء)	حـ حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)
حـ قـ تـ	ح حـ ق قـ ت تـ (أرجوانية)	ح حـ ق قـ تـ تـ (حمراء)	ح حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)	ح حـ قـ قـ تـ تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ ت تـ (بيضاء)	حـ حـ ق قـ تـ تـ (بيضاء)	حـ حـ قـ قـ ت تـ (بيضاء)	حـ حـ قـ قـ تـ تـ (بيضاء)

الجيل الثاني ($\frac{27}{64}$: أرجوانية الأزهار ، $\frac{9}{64}$: حمراء الأزهار ، $\frac{28}{64}$ بيضاء الأزهار)

النسبة	الصفات
٢٧	. . . . أرجوانية الأزهار
٩	. . . . حمراء الأزهار
٢٨	. . . . بيضاء الأزهار

ولما كان مجموع هذه النسب (٦٤) ، مما يوحى بوجود ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية المتضادة ، فقد افترض أن صفة احمرار الأزهار تحدث نتيجة تفاعل العاملين المكملين(ح)و(ق)، وأن منع اللون الأحمر من الظهور—وتحويره إلى اللون الأرجوانى — مسبب عن وجود عامل متفوق سائد رمز له بالرمز (ت) ، ويرمز للعوامل المتضادة بالرموز الآتية (ح) ، (ق) ، (ت) ، ومن ثم فيكون أحد الأبوين أبيض الأزهار لأنه يحمل أحد العاملين المكملين فى حالة سائدة والآخر فى حالة متنحية والعامل المحور سائدا (ح ح ق ق ت ت) ، ويكون الأب الآخر أبيض الأزهار لأنه يحمل الصفات المتضادة (ح ح ق ق ت ت). وهكذا تكون أفراد الجيل الأول (ح ح ق ق ت ت) أرجوانية الأزهار لتحوير اللون الأحمر — الناتج من تفاعل العاملين المكملين السائدين — فى وجود العامل المتفوق سائدا .

ولما كانت الأزواج الثلاثة من العوامل المتضادة موجودة فى ثلاثة أزواج صبغية متماثلة فهى تتوزع توزيعاً مستقلا عند تكوين الأمشاج ، وترى فى الرقعة الشطرنجية (شكل ٤٠٨ : ب) مختلف الطرز المظهرية والجينية لأفراد الجيل الثانى . فإذا اجتمع العاملان المكملان السائدان مع تنحية العامل المحور للاحمرار كانت الأزهار حمراء ، أما إذا اجتمع العاملان المكملان السائدان مصحوبين بالعامل المحور السائد كانت الأزهار أرجوانية اللون. أما فيما عدا ذلك من أحوال فتكون الأزهار بيضاء . ويعرف العامل المحور بالعامل المتفوق أما الصفة التى تحورت استجابة له — وهى فى هذه الحالة صفة الاحمرار — فتعرف بالصفة المتفوق عليها أو تحت الاستاتيكية (Hypostatic).

العوامل المانعة :

العامل المانع هو عامل سائد يحول دون إبراز تأثير آخر . فى الدجاج وجد عند التهجين بين صنفين – كل منها أبيض اللون – أن جميع أفراد الجيل الأول بيضاء ، أما الجيل الثانى فتكون نسب الطرز المظهرية بين أفراده كالآتى (١٣ بيضاء : ٣ ملونة) ، كما هو مبين فى (شكل ٤٠٩) وافترض لتفسير ذلك وجود زوجين من العوامل المتضادة ، بسبب أن مجموع النسب يساوى

(شكل ٤٠٩)

(الآبوان) ل ل م م (بيضاء) × ل ل مـ مـ (بيضاء)

(أمشاج الأبوين) ل م ، ل مـ

(الجيل الأول) ل ل م مـ (بيضاء) × ل ل م مـ

(أمشاج الجيل الأول)

♀ \ ♂ (أمشاج)	ل م	ل مـ	ل م	ل مـ
ل م	ل ل م م (بيضاء)	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل م م (بيضاء)	ل ل م مـ (بيضاء)
ل مـ	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل مـ مـ (ملونة)	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل مـ مـ (ملونة)
ل م	ل ل م م (بيضاء)	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل م م (بيضاء)	ل ل م مـ (بيضاء)
ل مـ	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل مـ مـ (ملونة)	ل ل م مـ (بيضاء)	ل ل مـ مـ (بيضاء)

(الجيل الثانى) ١٣/١٦ بيضاء : ٣/١٦ ملونة

تأثير العامل المانع (م) على ابراز عامل اللون (ل) ، حيث يحول وجود العامل المانع دون ظهور اللون فى الدجاج

(١٦) . فإذا رمز للعامل السائد المسبب لإحداث اللون بالرمز (ل) والعامل المتنحى له بالرمز (ل) ، وللعامل المانع السائد بالرمز (م) والمتنحى له بالرمز (م) ، فيكون أحد الأبوين أبيض اللون لاجتماع العاملين السائدين (ل) و (م) ويكون تركيبه الوراثى (للمم) . ويكون الآخر أبيض اللون أيضاً لاجتماع العوامل المتضادة المتنحية (للمم) . أما أفراد الجيل الأول (للمم) فتكون بيضاء لاجتماع العاملين السائدين لإبراز ومنع اللون . وتتوزع الأمشاج من أفراد الجيل الأول توزيعاً مستقلا وينتج عن التلقيح فيما بينها الطرز المظهرية والجينية المختلفة لأفراد الجيل الثانى ، كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

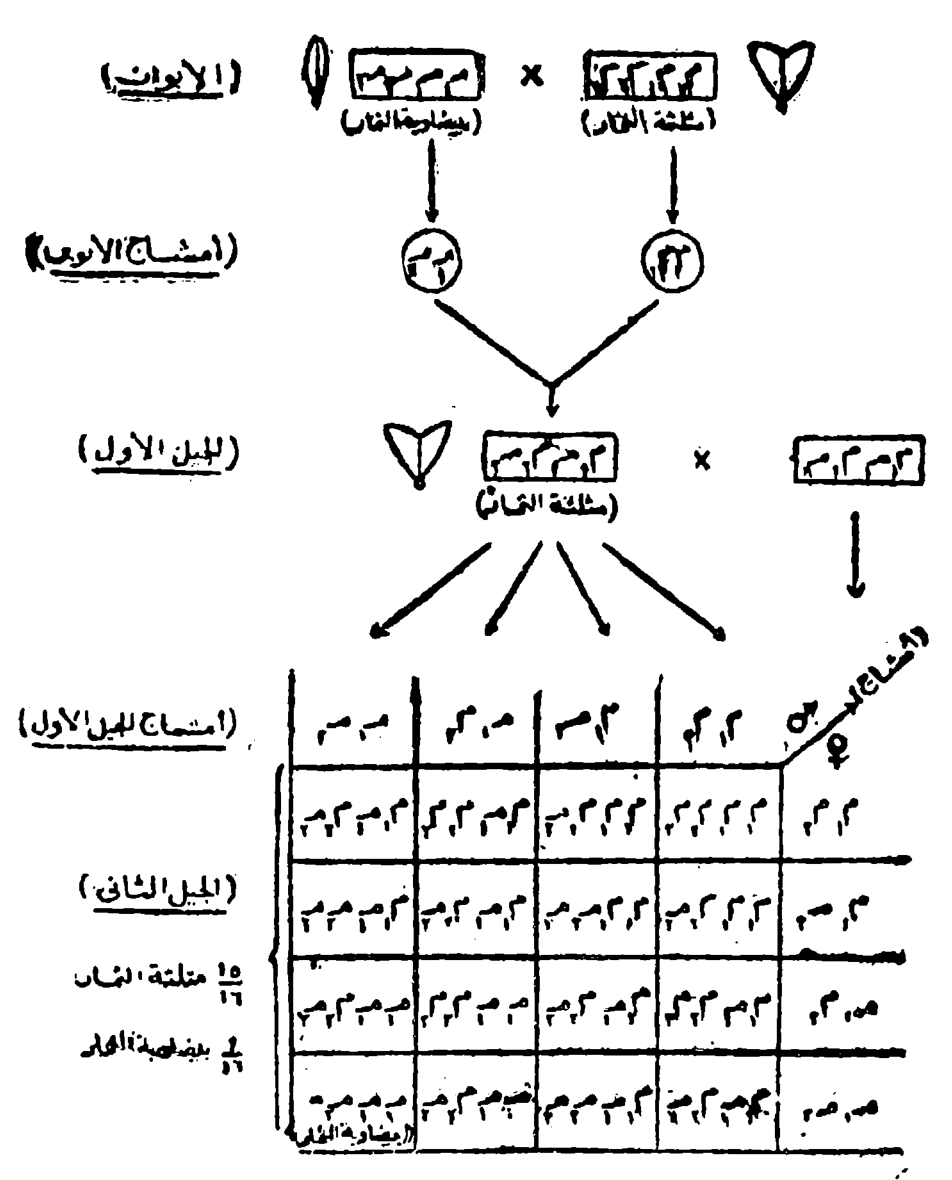
العوامل المزدوجة :

نجد فى بعض الحالات أن هناك زوجين من العوامل المتضادة ، كل زوج ينتظم على مثنى صبغى متماثل مستقل ، إلا أن كل زوج من هذه العوامل المتضادة يؤثر بنفس الطريقة من حيث سيادة صفة ما أو تنحيها ، فإذا فرضنا أن هناك زوجين من العوامل المتضادة . ولنرمز لأحدهما مثلا بالرمز (ب ب) وللآخر بالرمز (ج ج) فإن العامل (ب) يسود العامل المتضاد (ب) ، كما يسود العامل (ج) — الذى يؤثر على صفة ما بنفس الطريقة التى يؤثر بها العامل (ب) — على العامل «(ج) المتماثل لتأثيره للعامل المتنحى (ب) ، وتعرف مثل هذه العوامل بالعوامل المزدوجة .

ولنضرب لذلك مثلا نبات كيس الراعى ، الذى يوجد منه نوعان مميزان أحدهما يعرف علمياً باسم **(Capsella pursa pastoris)** وثمارة مثلثة الشكل والآخر يعرف علمياً باسم **(Capsella Heegeri)** وثماره بيضاوية الشكل . وعند التهجين بين النوعين وجد أن جميع أفراد الجيل الأول مثلثة الثمار (شكل ٤١٠) ، أى أن الشكل المثلث الثمار يسود الشكل البيضاوى . وعند التهجين الذاتى بين أفراد الجيل الأول نتجت أفراد الجيل الثانى بنسبة : (١٥ مثلثة الثمار : ١ بيضاوية الثمار) ، مما يدل على وجود زوجين من العوامل

المتضادة مسئولة عن إبراز شكل الثمار ، من حيث كونها مثلثة أو بيضاوية . ومن ثم استنتج أن الثمار مثلثة الشكل ناتجة عن وجود عاملين سائدين ، ترمز لهما بالرمزين (م ١) و (م ٢) ، والصفتان المتنحيتان لهما هما على التوالى : (مـ ١) و (مـ ٢) ، بحيث يوجد زوج العوامل (م ١ مـ ١) على زوج صبغى مستقل عن المثنى الذى يحمل الزوج الآخر (م ٢ مـ ٢) .

(شكل ٤١١)



العوامل المزدوجة فى توارث صفات الثمار فى نبات كيس الراعى ، حيث تكون الثمار مثلثة الشكل نتيجة لعاملين وراثيين سائدين يرمز لهما بالرمزين : (م ١) و (م ٢) ، أما بيضاوية الثمار فناتجة عن العاملين المتنحيين : (مـ ١) و (مـ ٢) .

من ثم يكون التركيب الوراثى للأب مثلث الثمار هو (م ١ م ١ م ٢ م ٢) ، ما بيضاوى الثمار فيكو ن تركيبه (مـ ١ مـ ١ مـ ٢ مـ ٢) ، وتكون أفراد الجيل لأول جميعها مثلثة الثمار (م ١ مـ ١ م ٢ مـ ٢) . وتتوزع هذه العوامل توزيعاً ستقلا عند تكوين أمشاج الجيل الأول ، وتنتج أفراد الجيل الثانى بنسبة : ١٥ مثلثة الثمار : ١ بيضاوية الثمار) كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من لشكل ، حيث تنتج الأفراد مثلثة الثمار إما عن وجود العاملين السائدين مجتمعين أو منفردين ، أما بيضاوية الثمار فلا تحدث إلا عند غياب العاملين لسائدين .

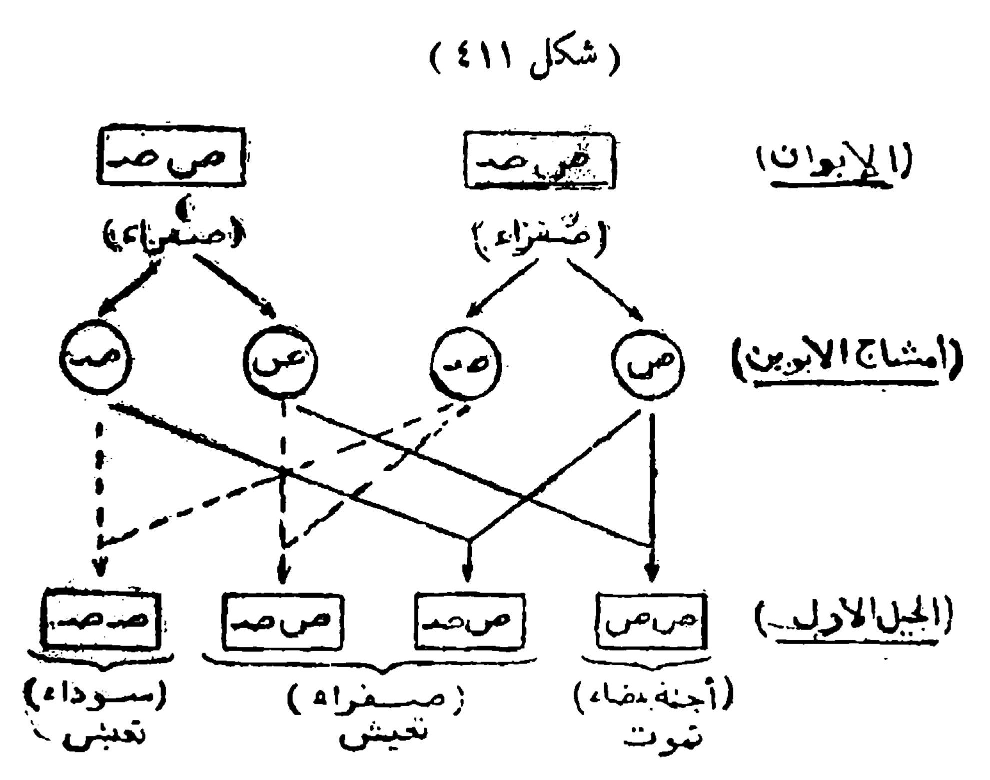
العوامل المميتة :

العوامل المميتة هى عوامل وراثية تؤثر تأثيراً مباشراً على حيوية لكائنات ، إذ تحدث فى الكائن تغيرات خاصة توقف نموه وتسبب موته فى مرحلة مبكرة من مراحل حياته ، ومن أمثلة ذلك ما وجد عند التهجين بين فأرين أصفرى اللون متباينى التركيب الوراثى (Heterozygous)، تمثل فيهما سواد اللون صفة متنحية للإصفرار ، فكان من المنتظر أن تكون نسبة الفئران الصفراء إلى السوداء بين أفراد الجيل الأول هى (٣ صفراء : ١ سوداء) حسب القانون الأول لمندل ، ولكن وجد أن النسبة الفعلية التى أمكن الحصول عليها هى (٢ فئران صفراء اللون : ١ فئران سوداء اللون) . وأمكن تفسير ذلك وراثياً على ضوء تأثير العوامل المميتة ، فإذا رمزنا للعامل الوراثى السائد المسبب لاصفرار اللون بالرمز (ص)، والعامل المتنحى المتضاد — والمسبب لاسوداد اللون — بالرمز (صـ) ، فإن التركيب الوراثى لكل من الأبوين متباينى التركيب الوراثى يكون (ص صـ) — كما هو مبين بالشكل (٤١١)— وينتج كل أب نوعين من الأمشاج ، أحدهما (ص) والآخر (صـ) . ومن ثم فتوجد أفراد الجيل الأول بالنسب والطرز المظهرية والجينية الآتية :

(أ) (ص ص) ، وهى متشابهة التركيب الوراثى (Homozygous) صفراء اللون ، إلا أن هذه الأفراد تموت وهى ما زالت أجنة فى البطون ، ولا تظهر بين نتاج الجيل الأول . ومرد التأثير المميت فى مثل هذه الحالة اجتماع العاملين

السائدين معاً مما يسبب موت الجنين . ومن ثم فلا يبدى العامل القاتل تأثيره إلا فى الكائنات متشابهة التركيب الوراثى للجين السائد .

(شكل ٤١١)



تأثير العوامل المميتة كما يتمثل فى نتيجة التزاوج فأرين أصفر اللون متباين اللاقحة .

(ب) ٢ (ص صـ) : وهى صفراء اللون ، وتعيش لأنها متباينة اللاقحة (Heterozygous) بالنسبة لعامل الاصفرار .

(حـ) ١ (صـ صـ) : وهى سوداء اللون وتعيش لعدم وجود العاملين السائدين .

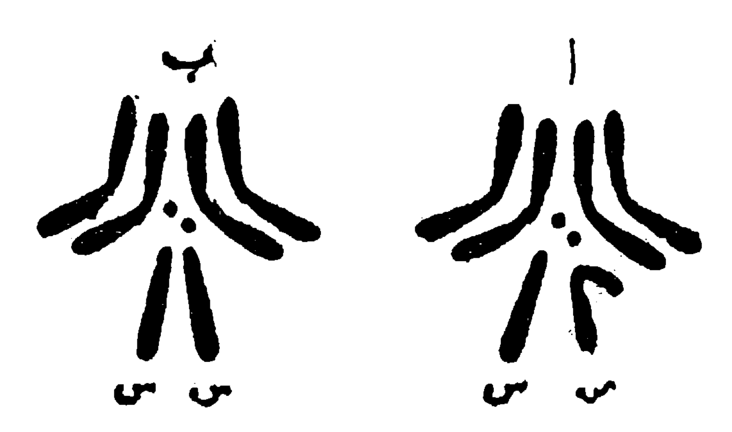
ومن ثم فتبدو نسب الجيل الأول – بسبب موت الأفراد الحاملة للعاملين السائدين للاصفرار (ص ص) فى المرحلة الجينية – كالآتى : (٢ صفراء اللون : ١ سوداء) ، وتكون جميع الأفراد الصفراء فى مثل هذه الحالة متباينة التركيب الوراثى.

البـــاب الرابع والأربعون

الوراثـة والجنس

إذا كان كل كائن يتميز بعدد محدود من الصبغيات ، فهل تتساوى الصبغيات حجماً وشكلا فى الذكور والإناث ، أم أن هناك اختلافاً فى شكل وحجم بعض الصبغيات فى ذكر الكائن إذا قورن بأنثاه ؟ ... إننا إذا اتخذنا من ذبابة الفاكهة (Drosophila) ، مثلا استطعنا دراسة كيفية توزيع الصبغيات وعلاقتها بالجنس ، ففى هذا النوع من الذباب – الذكور منه والإناث – توجد فى كل خلية أربعة أزواج من الصبغيات المتماثلة (شكل ٤١٢) ، ثلاثة أزواج منها متشابهة تماماً فى خلايا الذكور والإناث وزوج واحد فقط مختلف فيهما تمام الاختلاف ، إذ يتكون فى الخلايا الأنثوية من صبغين متماثلين مستقيمين ، يرمز لهما بالرموز س س (XX) ، وفى الخلايا الذكرية من صبغيين أحدهما مستقيم كالصبغى الجنسى لأنثوى ويرمز له الرمز (س) (X) ، ويتميز الآخر بانثنائه عند القمة ويرمز له بالرمز (ص) (Y) ، فالتركيب الوراثى للصبغيين الجنسيين لخلايا الذكور هو (س ص)

(شكل ٤١٢)



الصبغيات كما ترى فى خلية ذكر ذبابة الفاكهة « أ » وفى خلية أنثاه « ب » وتختلف الصبغيات الجنسيان فى الذكر « س ص » ويتشابهان فى الأنثى « س س »

(XY) . ووجد أن أجناس أفراد الجيل التالى ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتوزيع هذين الصبغيين عند تكوين الأمشاج المتكونة من الأبوين . ومن ثم فى ذبابة الفاكهة يمكن التمييز بين نوعين من الصبغيات .

١ – صبغيات متغايرة أو هتيروسومات (Heterosomes) : وتعرف أيضاً بالصبغيات الجنسية (Sex chromosomes) ، وهى التى تتصل بتوارث وتحديد الجنس . وتتمثل فى ذبابة الفاكهة بالصبغيين « س » و « ص » .

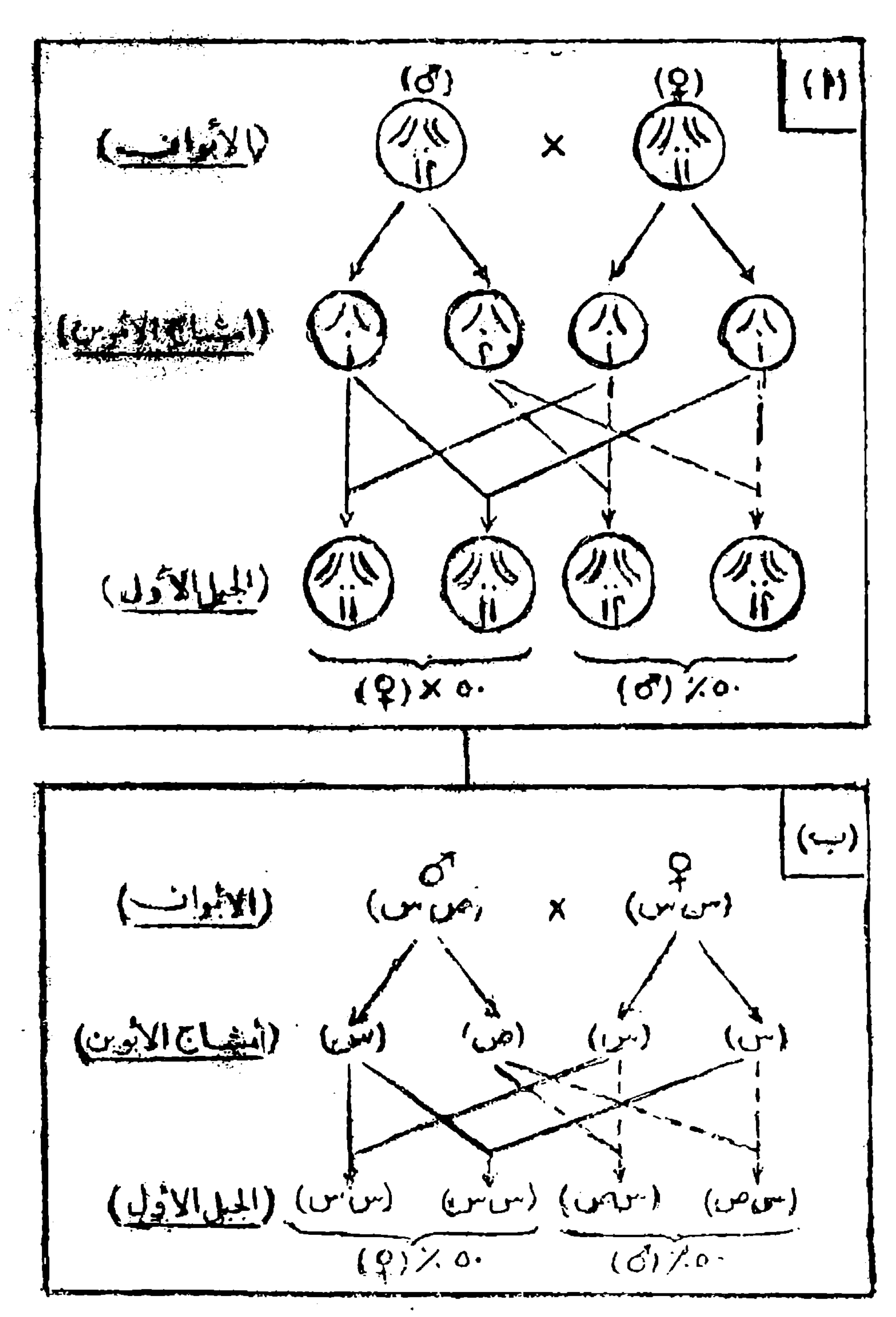
٢ – صبغيات ذاتية أو أتوسومات (Autosomes) : وهى التى لا تمت بصلة لتوارث الجنس ولكنها تتصل بتوارث الصفات الذاتية للفرد . وهى ممثلة بالأزواج الثلاثة الأخرى من الصبغيات المتماثلة .

ويبين (شكل ٤١٣) التركيب الصبغى لأبوين من ذبابة الفاكهة . ففى الخلية الأنثوية – حيث يتشابه الصبغيان الجنسيان – يتكون طراز واحد من البيض تحمل كل واحدة منها الصبغى الجنسى (س) . أما الخلية الذكرية فتنتج طرازين من الأمشاج . أحدهما تركيبه الصبغى الجنسى (س) والآخر (ص) . فإذا حدث إخصاب بين بيضة (س) ومشيج ذكرى (س) كانت اللاقحة (س س) ، وكان الوليد أنثى . أما إذا حدث الإخصاب بين بيضة (س) ومشيج ذكرى (ص) كانت اللاقحة (س ص) ، وكان الوليد ذكراً .

ومما يشاهد أن الجنسين يظهران فى الجيل الأول بنسبة متساوية (٥٠ ٪ ذكور و ٥٠ ٪ إناث) . وكانت هذه المشاهدة بمثابة أولى الخطوات التى وجهت الأنظار – قبل استكشاف الصبغيات الجنسية – إلى احتمال أن أحد الجنسين غير نقى وسائد فى إحدى الصفات التى يفتقر إليها الجنس الآخر ، وأن وجود أو غياب هذا العامل يحدد جنس الجنين .

وتشبه حالة الإنسان – من حيث تميز الصبغيات الجنسية عن الصبغيات الذاتية – حالة ذباب الفاكهة . ففى الإنسان يوجد ثلاثة وعشرون زوجاً من

(شكل ٤١٣)



العلاقة بين توزيع الصبغيات المتغايرة وجنس (Sex) ذباب الفاكهة ممثلة برسوم تخطيطية (ا) وبرموز (ب) وتبين كيفية توزيع الصبغيات فى الأبوين وفى الأمشاج الناتجة عنهما فيما ينتجان من أفراد الجيل التالى «الأول».

الصبغيات ، تتشابه اثنتان وعشرون منها فى خلايا الذكور والإناث ، ولا يختلف فى الجنسين إلا زوج صبغى واحد . حيث يتكون من صبغيين متماثلين تماماً فى خلايا الإناث أما فى الذكور فيتكون من صبغى يشبه أحد الصبغيين الجنسيين المتماثلين فى الإناث ومن صبغى آخر أصغر حجماً وسنتحدث بالتفصيل عن الصبغيات الجنسية فى الإنسان وارتباطها ببعض الصفات فى باب لاحق يختص بدراسة الوراثة البشرية .

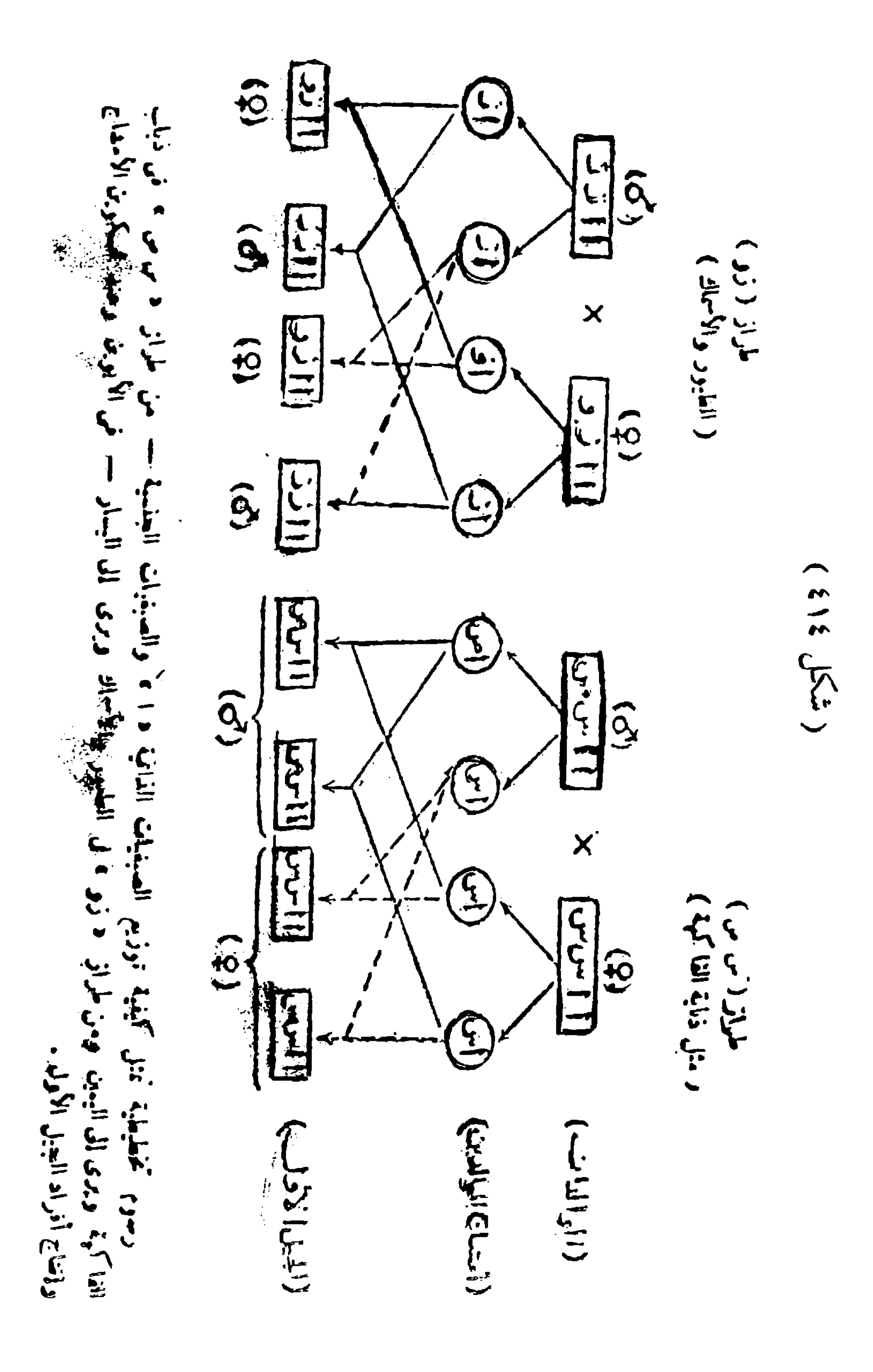
ويختلف الوضع بالنسبة لتماثل الصبغيين الجنسيين أو تباينهما فى كائنات أخرى حيث يكون الصبغيان الجنسيان متماثلين فى الذكور ومختلفين فى الإناث ، كما هو الحال فى الطيور والفراش وبعض الأسماك . وفى مثل هذه الحالة يرمز للصبغيين الجنسيين المتماثلين فى الذكور بالرمز « ز ز » (ZZ) وللصبغيين الجنسيين فى الإناث بالرمز (ز و) (ZW) . ويعرف هذا الطراز من الصبغيات الجنسية بطراز « ز و » بينما يعرف طراز ذباب الفاكهة بالطراز (س ص) . فإذا رمزنا للصبغيات الذاتية فى كلا الطرازين بالرمز (أ) . فإننا نستطيع مقارنة توزيع الصبغيات الذاتية والجنسية فى جنسى الأبوين وما ينتجان من أمشاج وفى أفراد الجيل الأول (شكل ٤١٤) .

وفى بعض كائنات حيوانية من طراز (س ص) — مثل أنواع من البق والجراد — قد يختفى الصبغى (ص) كلية فى الذكور ، وبذلك يكون التركيب الصبغى الجنسى فى الإناث هو (س س) وفى الذكور (س) . بمعنى أن عدد الصبغيات فى خلايا الذكور ينقص باستمرار صبغياً واحداً عن عددها فى الإناث .

الصبغيات الجنسية فى النباتات :

لم يقتصر اختلاف توزيع الصبغيات الجنسية عند مقارنة ذكر الكائن بأنثاه على الإنسان والحيوان بل تعداه أيضاً إلى بعض النباتات الزهرية ثنائية المسكن ، فقد وجد سانتس فى نبات « الإلوديا » (**Elodea**) آلية صبغية

جنسية من طراز (س ص) . فالنباتات الذكرية والأنثوية تحتوى كل خلية منها على أربعة وعشرين زوجاً صبغياً : تتشابه ثلاثة وعشرون منها فى الذكور

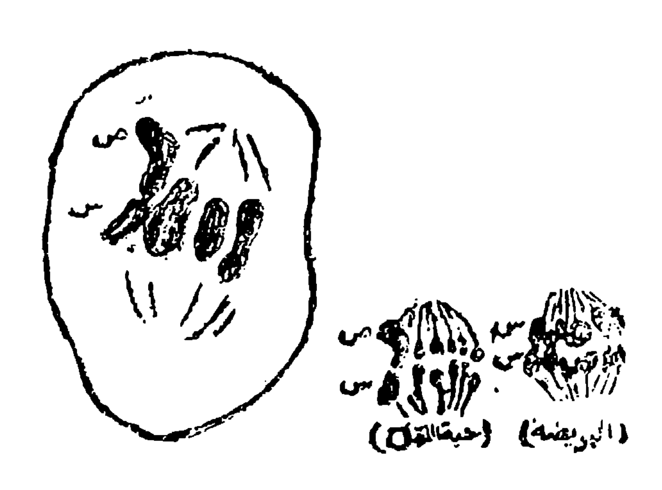


(شكل ٤١٤)

رسوم تخطيطية تمثل كيفية توزيع الصبغيات الذاتية « ا » والصبغيات الجنسية — من طراز « س ص » فى ذباب الفاكهة ويرى الى اليمين ومن طراز « ز و » فى الطيور والأسماك ويرى الى اليسار — فى الأبوين وعند تكوين الأمشاج وانتاج أفراد الجيل الأول .

والإناث ، ويختلف زوج واحد فيهما تمام الاختلاف ، إذ يكون تركيبه الوراثى (س س) فى خلايا الإناث و (س ص) فى خلايا الذكور . ومن ثم يحدث عند الانقسام الاختزالى وتكوين حبوب اللقاح انفصال بين الصبغيين الجنسيين (س) و (ص) وتكوين نوعين من هذه الحبوب ، أحدهما يحمل الصبغى الجنسى (س) والآخر يحمل الصبغى (ص) ، كما توجد آلية متشابهة فى نبات الحنيس ثنائى الجنس (Lychnis dioica) الموضح فى (شكل ٤١٥)

(شكل ٤١٥)



الصبغيات الجنسية فى نبات الحنيس (Lychnis dioica) ، ونرى إلى اليسار خلية كبيرة تمثل خلية ذكرية يتباين فيها الصبغيان الجنسيان (س ص) لحبوب اللقاح ، وفى خلية أنثوية — أو خلية والدة فى البويضة — حيث يتشابه الصبغيان الجنسيان (س س) ، عن بيلار

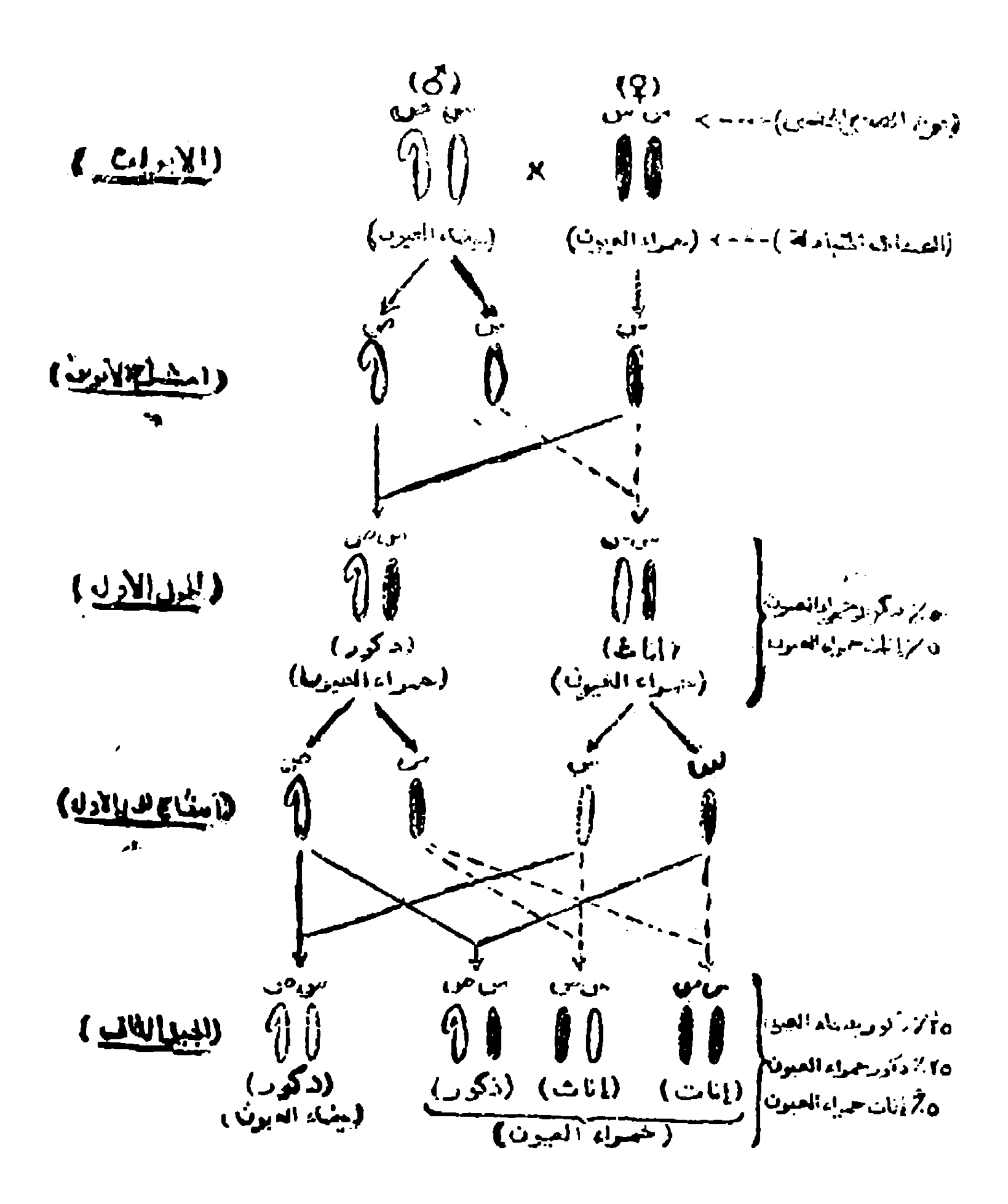
ووجد فى نبات الحميض (Rumex) أن خلايا النباتات الذكرية تحتوى على ستة أزواج من الصبغيات الذاتية أو الأوتوسومات وعلى ثلاثة صبغيات جنسية منفردة ولنرمز لها بالرموز (م ، م$_1$ ، م$_2$) ، فعند الانقسام الاختزالى لتكوين حبوب اللقاح — يتجه الصبغى الجنسى (م) إلى أحد الأقطاب بينما يتجه الصبغيان الآخران (م$_1$ ، م$_2$) إلى القطب المضاد ، ومن ثم يتكون نوعان من حبوب اللقاح ، أحدهما تركيبه الصبغى (٦ أوتوسومات + م) والآخر (٦ أوتوسومات + م$_1$ + م$_2$) . ويعطى النوع الأول من الإخصاب نباتات أنثوية بينما ينتج الثانى نباتات ذكرية .

صفات مرتبطة بالجنس :

وجد فى ذباب الفاكهة — وهو من طراز (س ص) — أن الصبغى الجنسى (ص) يختلف عن الصبغى (س) وعن الصبغيات الذاتية فى عدم احتوائه إلا على عدد قليل من الوحدات الوراثية أو الجينات. وفى معظم الأحيان لم تكتشف عليه جينات على الإطلاق ، وإذا ما اكتشفت بعض جينات فهى عادية ليست متضادة مع الجينات الموجودة على الصبغى المماثل (س) كما هو الحال فى الأزواج الأخرى من الصبغيات الذاتية . إلا أن هناك صفات خاصة ترتبط بالصبغى الجنسى (س) ، ومن أمثلة هذه الصفات لون العين فى ذباب الفاكهة . فاللونان الأحمر والأبيض لعيون ذبابة الفاكهة يكونان زوجاً من الصفات المندلية المتضادة يسود فيهما الاحمرار على البياض . ووجد أن انتقال هذه الصفات يمت بصلة وثيقة إلى الجنس . فنتيجة التهجين بين أفراد حمر العيون وأفراد بيض العيون تختلف باختلاف لون عين الأبوين . ووجد أن العوامل الوراثية المسئولة عن إبراز احمرار العيون أو بياضها تحمل بوساطة الصبغى (س) ، أما الصبغى الجنسى (ص) فلا يمت بأدنى صلة إلى هذه الصفات . وترى فى (شكل ٤١٦) نتيجة التلقيح بين أنثى ذباب حمراء العيون وذكر أبيض العيون . كما ترى فى (شكل ٤١٧) نتيجة التلقيح بين أنثى ذباب بيضاء العيون وذكر أحمر العيون .

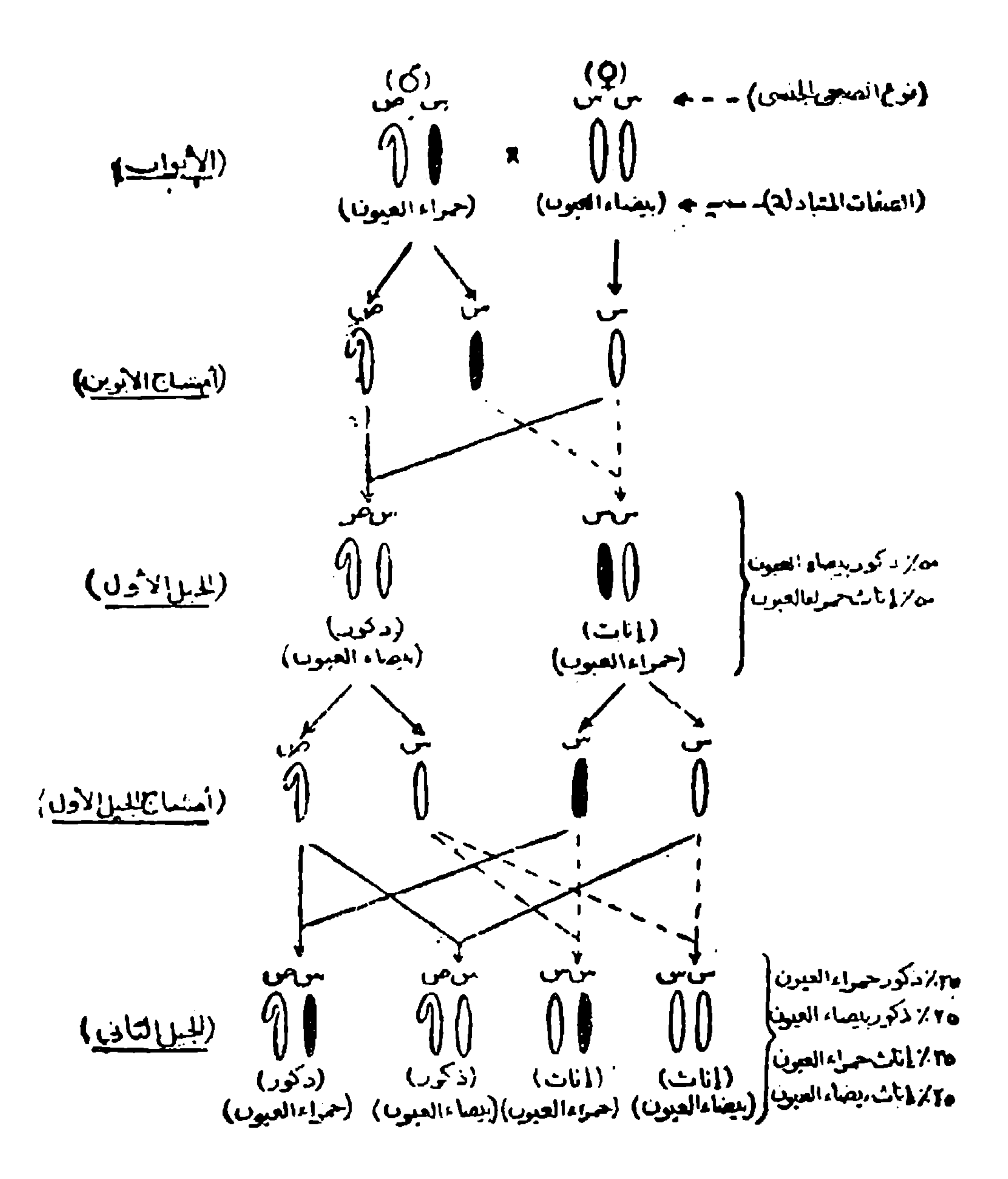
يتضح من الرسوم التخطيطية المبينة بالشكلين أنه إذا حدث تلقيح بين أنثى ذباب حمراء العيون وذكر أبيض العيون كانت جميع أفراد الجيل الأول — ذكوراً وإناثاً — حمر العيون ، فإذا ما حدث تلقيح بين هذه الأفراد كان نتاج الجيل الثانى من الإناث حمر العيون ، أما الذكور فنصفها ذات عيون حمراء والنصف الآخر ذات عيون بيضاء . أما إذا حدث تلقيح بين أنثى ذباب بيضاء العيون وذكر أحمر العيون فإن أفراد الجيل الأول من الذكور تكون بيضاء العيون وتكون الإناث حمراء العيون ، فإذا ما حدث تلقيح بين هذه الأفراد فتكون الإناث — وكذلك الذكور — نصفها ذات عيون حمراء والنصف الآخر ذات عيون بيضاء .

(شكل ٤١٦)

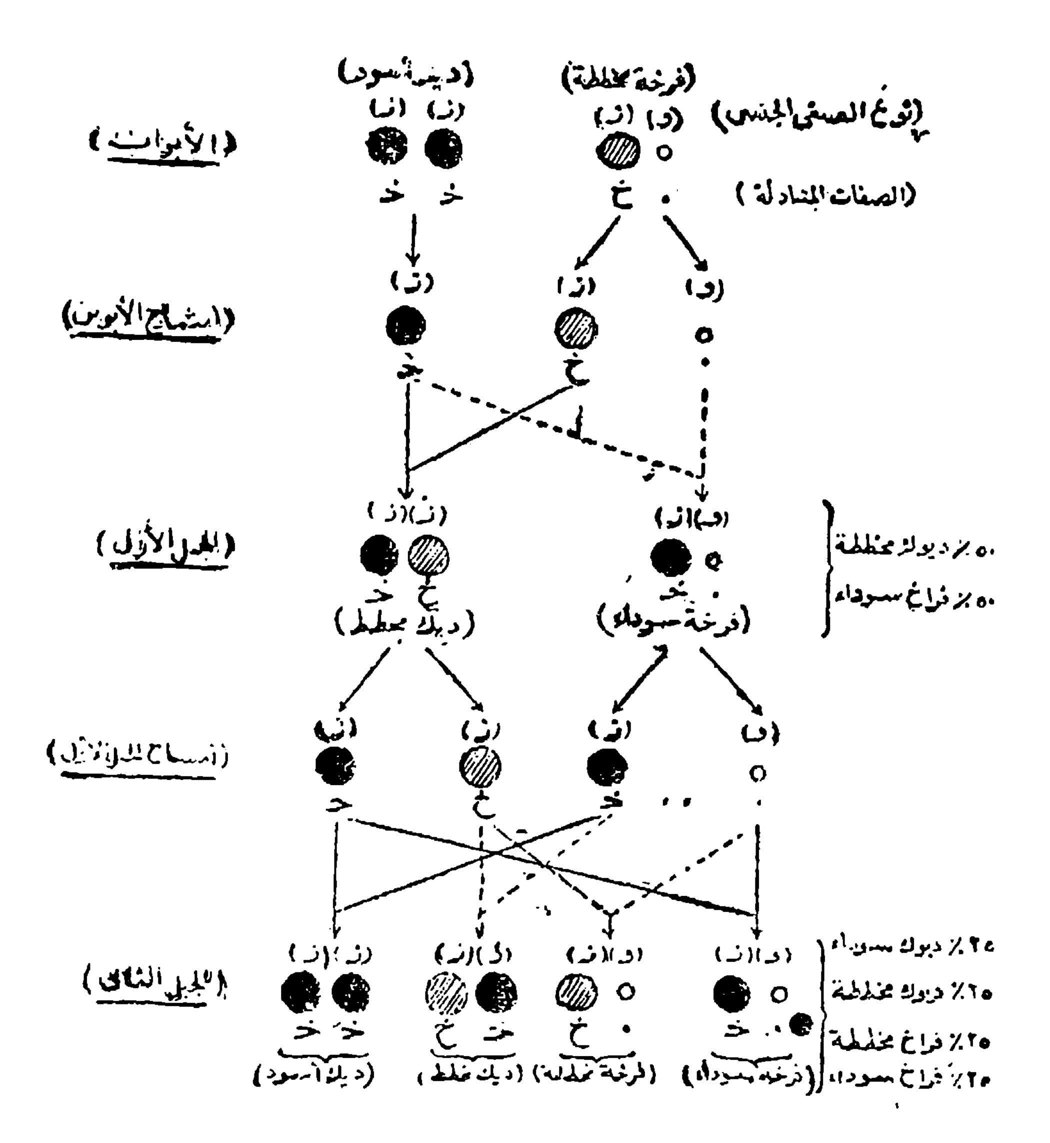


رسم تخطيطي يمثل كيفية توارث صفات أحمرار العيون وبياضها — المرتبطة بالصبغي الجنسي (س) — نتيجة للتزاوج بين ذكر ذباب أبيض العيون وأنثى حمراء العيون ، كما يبين جنس ونسب الأفراد المختلفة ولون العيون في كل من الجيلين البنويين الأول والثاني ، ويمثل الصبغي (س) — الملون بالأسود في الرسم — الصبغي الجنسي المرتبط بعامل أحمرار العين ، أما الصبغي (س) — الأبيض في الرسم — فيرتبط به عامل بياض العين المتنحي والمضاد مع الأحمرار.

(شكل ٤١٧)



رسم تخطيطي يمثل كيفية توارث صفات أحمرار وبياض العيون – المرتبطة بالصبغي الجنسي (س) — نتيجة التزاوج بين ذكر ذباب أحمر العيون وأنثى بيضاء العيون ، كما يبين جنس ونسب الأفراد المختلفة ولون العيون في كل من الجيلين البنويين الأول والثاني . ويمثل الصبغي (س) — الملون بالأسود في الرسم — الصبغي الجنسي المرتبط بعامل احمرار العين ، أما الصبغي (س) — الأبيض في الرسم — فيرتبط به عامل بياض العين المتنحي والمضاد مع الاحمرار .



رسم تخطيطي يمثل توارث صفات التخطيط والسواد المرتبطة بالصبغي الجنسي (ز) - نتيجة التزاوج ديك أسود وفرخة مخططة ، كما يبين جنس ونسب الأفراد مختلفة اللون في كل من الجيلين البنويين الأول والثاني. ويمثل الصبغي المخطط (ز) الصبغي الجنسي المرتبط باللون المخطط ويحمل عاملا سائدا للتخطيط (خ) ، أما الصبغي (ز) - الأسود في الرسم - فيرتبط بسواد اللون ويحمل عاملا متضادا « أي متنحيا » (خ)

ووجد بالمثل أن هناك صفات ترتبط بالجنس فى الكائنات من الطراز الجنسى (ز و) إذ لوحظ فى الدجاج أن التخطيط أو سواد اللون يرتبط بعوامل وراثية محمولة على الصبغى (ز) . ويبين (شكل ٤١٨) نتيجة التلقيح بين فرخة مخططة وديك أسود ، ويتضح منها أن الفراخ من أفراد الجيل الأول كانت جميعها سوداء بينما كانت الديوك مخططة ، أما فى الجيل الثانى فكان نصف الديوك أو الفراخ مخططة والنصف الآخر سوداء اللون . وتفسير ذلك أن التخطيط مرتبط بجين سائد (خ) على الصبغى (ز) ، ووجود الجين (خ) المتنحى يسبب السواد ، أما الصبغى (و) فلا يحمل جينات على وجه الإطلاق .

الباب الخامس والأربعون

التطور العضوى والطفرة

(Organic Evolution and mutation)

يعد التطور العضوى من الحقائق التى لا ريب فيها ، فكل ما نراه حالياً من شتى طرز الكائنات لا بد وأنها تدرجت من كائنات سبقتها فى مضمار الحياة ، ولم يكن تشارلس داروين Charles Darwin) أول من وجه الأنظار إلى إمكان التطور ، بل سبقه من قبل كثير من علماء الإغريق الأقدمين من أمثال أناكسماندر (Anaximander) وأمبيدوكلس (Ampedocles) ، ومع أن حدوث التطور يعد من الأمور المسلم بها ، إذ أن هناك كثيراً من الأدلة المؤيدة له مستمدة من علوم التصنيف والحفريات والتشريح المقارن والفسيولوجيا والأجنة والتوزيع الجغرافى ، فإن الآراء متضاربة عن كيفية حدوثه ، ومن أهم هذه الآراء تلك التى وضعها لامارك وداروين ووايزمان ودى فريزر ، وسنناقش كل واحد منها باختصار .

(١) النظرية اللاماركية فى الاستعمال وعدم الاستعمال :

وضع هذه النظرية العالم الفرنسى لامارك (Lamarck) ١٧٤٤ — ١٨٢٩(، وافترض فيها تعرض البيئة للتغيير ، وأن الاستعمال أو عدم الاستعمال قد تبدل من صفات الأفراد ، وأن الصفات التى يكتسبها الفرد أثناء حياته تنتقل إلى ذريته بالوراثة ، فالاستعمال المستمر لجزء من الجسد — كاستعمال الحداد لعضلات ذراعه — ينتج عنه ازدياد نمو ذلك العضو ، بينما ينتج عن عدم استعمال عضو ما ضموره الجزئى أو اختفائه اختفاءاً كلياً ، وقد ضرب لامارك لذلك مثلا عنق الزرافة ، فهذا العنق وصل إلى درجة غير عادية من الطول ، وفسر ذلك بأن الزرافة تمد عنقها لتصل إلى أوراق الأشجار العالية ، ومن ثم زاد العنق تدريجياً فى الطول ، وازداد بتوالى الأجيال حتى وصل إلى ما وصل

إليه الآن ، ومن ناحية أخرى ضمرت أجنحة بعض الطيور نتيجة لعدم استعمالها فى الطيران . إلا أن النظرية اللاماركية فى توارث الصفات المكتسبة لم تقابل بالتأييد من علماء الأحياء لافتقارها إلى البرهان .

(٢) النظرية الداروينية للانتحاب الطبيعى :

قام عالم الأحياء الإنجليزى تشارلس داروين (Charles Darwin) برحلة استكشافية فى الفترة ما بين عامى ١٨٣١ و ١٨٣٦ طاف فيها العالم جميعه ، وقد اكتسب من حسن المران وكثرة المشاهدات ما حفزه على استحداث نظرية جديدة فى كيفية حدوث التطور ، نشرت عام ١٨٥٩ فى كتابه « أصل الأنواع والانتخاب الطبيعى » أو « استبقاء السلالات المناسبة بنضالها فى الحياة » ، وتعتمد النظرية الداروينية على المشاهدات الآتية :

(ا) **إسراف الطبيعة :** تبلغ الكائنات الحية درجة كبيرة من الخصوبة ، ومع ذلك فإن متوسط عددها الإجمالى يكاد يكون ثابتاً . فمما لا ريب فيه أن ما تنتجه النباتات من أنسال أكثر مما يقدر لها البقاء ، فنسبة ضئيلة للغاية من بذور وجراثيم النباتات هى التى تستطيع أن تنبت فعلا ، كما لا تصل إلى مرحلة النضوج إلا قلة ضئيلة من البادرات النابتة .

(ب) **الصراع أو التناحر للبقاء :** لما كان ما ينتجه الأفراد من أنسال يفوق ما يلزم لإعالتهم من إمكانات فى هذا الكون ، فإن نضالا مستمراً ينشب بينها للبقاء ، يتمثل فيما يحدث فى الطبيعة من تنافس للحصول على الغذاء والماء والضوء بين الأفراد ، من نباتات وحيوانات ، ولا يعد هذا الصراع متكافئاً بسبب تباين التركيب وأوجه النشاط .

(ج) **اختلاف الكائنات والأنواع من حيث ملاءمتها لبيئة ما :** مما هو جلى أن النبات المائى ليس صالحاً للنمو فى تربة جافة ، كما أن النبات الجفافى ليست لديه المقدرة على المعيشة فى الماء .

(د) **التنوع والوراثة** : لا تتشابه جميع أفراد النوع الواحد تشابهاً تاماً ، بل توجد هناك دائماً بعض الاختلافات (التنوعات) بين أفراد النسل الذى ينتجه نفس الوالدين ، وتكون لتلك الاختلافات صفة التقلب أو الاستمرار والثبوت .

(ه) **الانتخاب الطبيعي** : ينتج عن الصراع للبقاء (تنازع البقاء) انتخاب طبيعي بين السلالات ، بمعنى أن أصلحها هى التى يقدر لها البقاء .

(و) **أصل الأنواع** : إن التنوعات التى تستجيب بها بعض الأفراد لظروف بيئتها ومناهج حياتها ، وما نتج من تباعد عن الطراز الأصلى بتأثير الانتخاب الطبيعي على مر الأجيال ، لكفيل بمضى الزمن أن يرقى بتلك الأفراد إلى مرتبة الاستقلال كأنواع .

(٣) نظرية البلازم الجرثومى لوايزمان :

وضع أحد علماء الأحياء الألمان ، وهو أوجست وايزمان (O. Weismann) (١٨٣٤–١٩١٤) ، نظرية وراثية تعتمد على تسلسل البلازم الجرثومى (Germ plasm) . واعترض بشدة على ما افترضه لامارك من توارث الصفات المكتسبة ، ويمكن تلخيص نظرية وايزمان (Weismann) فيما يلى :

(ا) تتميز خلايا الكائن الحى إلى نوعين : خلايا جسدية (Somatic cells) تحتوى على البلازم الجسدى ، وخلايا جرثومية (Germ cells) تحتوى على البلازم الجرثومى .

(ب) تكمن الخلايا الجرثومية داخل الجسد ، ولكنها ليست جزءاً منه .

(ج) تنشأ الخلايا الجرثومية منحدرة مباشرة من الخلايا الجرثومية للجيل الذى سبقها .

(د) البلازم الجرثومى فى تسلسل مستمر منذ بدأت الحياة ، ويقوم الجسد بصيانته .

(ه) تنشأ التنوعات عن امتزاج الصفات المختلفة المستمدة من الوالدين .

(و) تنشأ الموجهات من البلازم الجرثومى ، وتنتقل خارج الخلايا الجرثومية إلى الأجزاء المختلفة من الجسد النامى ، ويتم بهذه الطريقة تنويع الكائن .

(ز) لا ينشأ طراز جديد من الكائنات إلا كنتيجة لطراز متغير من الخلية الجرثومية .

ومن ثم فإن آراء وايزمان عن التنوع تختلف تمام الاختلاف عن تلك التى افترضها لامارك وداروين ، فالأخيران يعتقدان أن مرد التنوع هو الجسد ، ثم ينتقل بعد ذلك إلى الخلايا الجرثومية ، أما وايزمان فقد أبرز أهمية الوراثة فى حدوث التطور ، إلا أنه أغفل تماماً الدور الذى تقوم به البيئة .

(٤) نظرية الطفرة لدى فريز :

وضع عالم النبات الهولندى « هوجو دى فريز » (Hugo De Vries) عام ١٩٠١ نظرية لتفسير كيفية التطور على أساس التغيرات الفجائية ، وسمى تلك التغيرات الفجائية بالطفرات (Mutations) ، وقد وضع دى فريز هذه النظرية نتيجة اكتشافه لتغيرات تسترعى الأنظار فى الأجيال المتعاقبة لنبات يعرف علمياً باسم « إينوثيرا لاماركيانا » (**Oenothera lamarckiana**) ، وجده عام ١٨٨٦ ينمو بريا فى حقل مهجور على مقربة من هيلفرسوم بهولندا ، وعندما قام بإجراء تجارب على هذا النبات فى حدائق أمستردام ثبت له أن الطفرات المستحدثة تظل ثابتة عندما تلقح فيما بينها تلقيحاً ذاتيا ، كما أنها عندما تلقح تلقيحاً خلطياً تخضع فى توارثها للقوانين المندلية ، وقد أثبت من تبعه من باحثين صحة استنتاجات دى فريز ، واستغلت طريقته لاستكشاف الطفرات بين عدة أنواع من النباتات والحيوانات .

ومنذ استكشاف دى فريز توالت بحوث علم الخلية (Cytology) لإماطة اللثام عن العلاقة بين سلوك الصبغيات وحدوث الطفرات ، وقد أثبتت هذه البحوث أن كثيراً من الطفرات تحتوى على أعداد صبغية جديدة تختلف عن

تلك الموجودة فى الأنواع الأصلية ، فمثلا تحتوى نواة كل خلية من خلايا « إينوثيرا لاماركيانا » على أربعة عشر صبغياً ، بينما تحتوى إحدى طفراتها — وهى « إينوثيرا لاتا » (Oenothera lata) على خمسة عشر صبغياً فى كل نواة خلية ، ولما كانت الطفرة تعد من أهم المسببات فى حدوث التطور فسنتناولها فيما يلى بالتفصيل .

الطفـــرة

تنتج بعض سلالات من الكائنات — التى تبدو نقية أو متشابهة التركيب الوراثى (Homozygous) — أفراد تختلف مظهريا عن النوع المتداول ، وتظهر مثل هذه السلالات غالباً استجابة لاختلاف الظروف البيئية ، ولا تؤثر مثل هذه الفروق المظهرية — التى ترد إلى اختلاف الظروف البيئية — إلا فى جسم الأفراد فقط ، ومن ثم فلا تتوارث فيما يليها من أجيال ، ولكنها تدل بصورة قاطعة على أن دراسة الصفات الوراثية تستلزم توحيد الظروف البيئية . ولكن يحدث فى بعض الأحيان أن تظهر أنواع جديدة — لا يرجع منشؤها إلى تأثير العوامل البيئية — بل تنتقل الصفات الجديدة منها إلى ما يليها من أجيال حسب قوانين الوراثة المعروفة . وتعرف مثل هذه الطرز الجديدة — التى لا يرجع ظهورها إلى استجابة بيئية بل تتوارث صفاتها حسب القوانين الوراثية — بالطفرات (Mutants)، وتعرف الظاهرة نفسها بالطفرة (Mutation).

وأول من افترض إمكان ظهور طرز جديدة من الكائنات ظهوراً فجائياً هو « دى فريز » عام ١٩٠١ ، نتيجة لدراسات مستفيضة قام بها على نبات « إينوثيرا لاماركيانا » (Oenothera lamarckiana) ، فقد لاحظ أن هذا النبات ينتج بانتظام طفرات جديدة ، تتميز بمحافظتها باستمرار على توارث الصفات التى ظهرت فيها . وافترض دى فريز أيضاً أن هذه الطرز الجديدة تعد من العوامل الأكثر أهمية فى ظهور الأنواع الجديدة من التغيرات الطفيفة التى افترضها داروين . ومنذ ذلك الحين تعد الطفرة من أكثر الظواهر شيوعاً فى غالبية النباتات والحيوانات .

أما أولى الطفرات التى اكتشفت بطريقة تجريبية فهى طفرة العين البيضاء فى ذبابة الفاكهة (Drosophila melanogaster) ، التى أكتشفها مورجان (Moargan) عام ١٩١٠ . فقد ظهرت فجأة فى مزرعة سلالة نقية من ذباب أحمر العيون ذبابة واحدة بيضاء العيون ، ولم يستطع وقتذاك تعليل سبب ظهورها فى مثل هذه المزرعة النقية . وعندما حدث تزاوج بين هذه الذبابة المتطفرة بيضاء العيون وذبابة حمراء العيون بدت صفة البياض متنحية بالنسبة للإحمرار ، ومن ثم فقد اكتسب الطراز الجديد أبيض العيون صفة التوارث — حسب القوانين المندلية — وأصبح طفرة أو طرازاً جديداً .

وقد تبين فى بعض النباتات — كما فى نبات « الإينوثيرا » — أن منشأ الكثير من الطرز الجديدة (أو الطفرات) إنما يرجع إلى تغيير فى ترتيب وضع الجينات المعروفة من قبل على نفس الكروموسوم . فمن الأصناف التى كانت معروفة من قبل يوجد صنفان : أحدهما مزدوج الزهرة طويل قلم المتاع والآخر مفرد الزهرة قصير القلم ، ووجد أن انفراد الزهرة وطول قلمها تسود وراثيا ازدواجها وقصر قلمها ، ثم ظهر فجأة صنف جديد (أو طفرة) يجمع بين الصفتين المتنحيتين — وهما ازدواج الزهرة وقصر قلم المتاع — وهما صفتان لم تظهرا معاً من قبل فى نفس النبات .

وقد تبين بالتدريج أن الطرز الجديدة — أو الطفرات — تظهر نتيجة لتغير فى عدد الصبغيات أو ترتيبها أو لفقدان أو ازدواج أجزاء منها ، وتسمى مثل هذه الطفرات بالطفرات الكروموسومية (Chromosome mutations) ، كما أن هناك طرزاً أخرى من الطفرات يرجع سببها إلى تغيرات فى الجينات ذاتها أو فى ترتيبها ، وتسمى بالطفرات الجينية (Gene mutations) .

الطفرة الكروموسومية :

تحتوى كل خلية جسدية عادية — من خلايا النباتات والحيوانات الراقية — على مجموعتين متماثلتين من الصبغيات (ثنائية المجموعة الصبغية ، ويرمز لها بالرمز « ٢ ن »)، إلا أن هناك شواذاً بين الكائنات حيث تحتوى كل خلية على

أكثر من مجموعتين متماثلتين من الصبغيات ، وتعرف مثل هذه الكائنات بمتضاعفة الصبغيات (Polyploids) ، وهى إما أن تكون ثلاثية التضاعف الصبغى (Triploids) ، إذا احتوت كل خلية على ثلاث مجاميع صبغية متماثلة (٣ ن) . وتكون عادة عقيمة عقماً كلياً ، ومنها ما هى رباعية المجموعة الصبغية (Tetraploids) أو سداسية المجموعة الصبغية (Hexaploids) .

وينشأ التضاعف الصبغى عن تهجين متبوع بتضاعف الصبغيات ، كما يمكن استحثاثه بمعاملة البذور بمحاليل مائية من مادة الكولشيسين (Colchicine) أو بتعريضها للدرجات الحرارة العالية ، أو بتعريض براعم الأزهار لتبريد مفاجئ فى الوقت الذى يكون فيه الانقسام الاختزالى على وشك الحدوث فى الأسدية والبويضات . والطفرة الناتجة عن التضاعف الصبغى تعرف بالطفرة الكروموسومية، ويفسر التضاعف الصبغى الكثير من الطفرات التى تحدث فى بعض النباتات البرية والمزرعة ، ومن أمثلة النباتات الأخيرة القمح والشوفان والدخان وقصب السكر .

الطفرة الجينية :

تحدث الطفرة الجينية نتيجة لتغيير تركيب جين واحد فى الصبغى ، ولذلك تسمى أيضاً بالطفرة الموضعية (Point mutation) لأنها وثيقة الاتصال بتغيير نقطة واحدة أوموضع خاص فى الصبغى. وتعد الطفرة الجينية من أهم العوامل الأساسية ، إن لم تكن المسئولة عن ظهور أنواع جديدة من الكائنات . وبسبب حدوث طفرات جينية متتابعة يظهر كائن يتميز فى صفاته تماماً عن أسلافه بحيث يمكن اعتباره نوعاً جديداً .

ولعل من العسير أن نعلل كيفية حدوث الطفرة الجينية ، ذلك التعليل الذى به نزداد معرفة بتركيب وكيمياء الجينات ذاتها فى الصبغيات . فإذا ما تخيلنا الجينات بمثابة جزيئات أو أسس كيميائية كبيرة متصلة بخيط غير متميز ، فمن المحتمل أن تكون أسساً معقدة ذات سلاسل جانبية عديدة . وعلى أساس هذا الافتراض اقترحت عدة نظريات لتعليل آلية الطفرة الجينية ، .

فتفترض احدى هذه النظريات أن سبب الطفرة الجينية يرجع إلى تغيير ترتيب بعض الذرات المكونة للأس الجينى ، كما تفترض أيضاً إمكان فقد جزء من هذا الأس . ويعد الجين — بحسب هذه الآراء — بمثابة وحدة مميزة ذات تركيب على أكبر درجة من التعقيد ، ولا تعدو الطفرة إلا أن تكون مظهراً لفقدان أو تغيير ترتيب المادة داخل الجزئ أو الأس الجينى . وهناك نظرية أخرى لا تعزو الطفرة الجينية إلى تغيير فى الأسس الجينية بمفرداتها. بل تعتبر الصبغى جميعه كوحدة وراثية قائمة بذاتها . وتعلل هذه النظرية حدوث الطفرة كنتيجة لتغير ترتيب الأسس الجينية المكونة للصبغى جميعه .

تأثير الطفرة :

تسبب الطفرة حدوث تغييرات مختلفة فى الكائنات لا يكاد يشملها حصر ، فجميع أجزاء الكائن قد يعتريها تغيير ، وقد يتغير كل جزء منه بطرق شتى . فهناك من الطفرات ما تسبب تغيير شكل كل عضو وحجمه ولونه جميعاً . ومنها ما تعمل على تغيير الكثير من المميزات الأساسية للأفراد مثل :

(ا) درجات ثبوت الجينات الأخرى بالنسبة للجين المتطفر .

(ب) السرعة الطفرية للجينات الأخرى بالنسبة للجين المتطفر .

(ج) تكوين الخيوط المغزلية فى الانقسام الاختزالى .

(د) حيوية الأمشاج الجنسية .

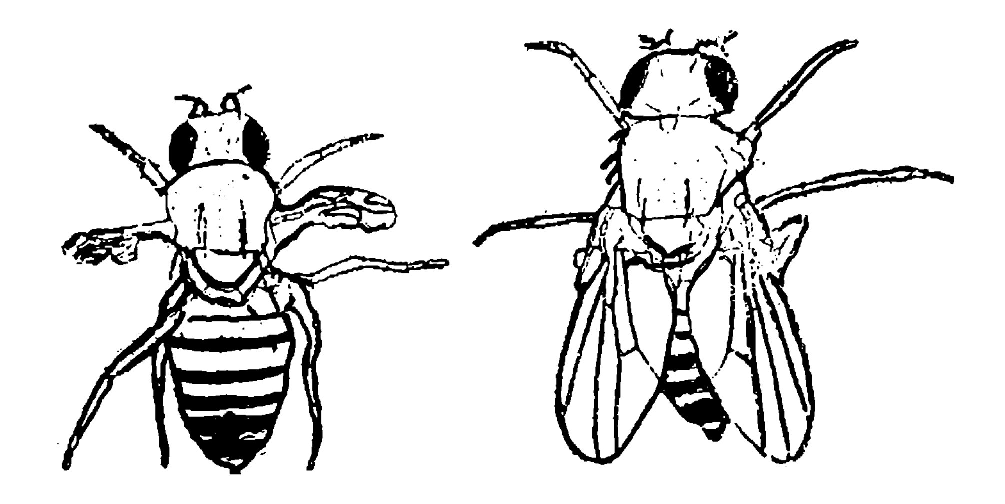
(ه) حدوث تنافر بين البيض والحيوانات المنوية ، مما يحول دون اقتراب نوعى الأمشاج لإتمام عملية الإخصاب وبسبب العقم .

وقد تنشأ طفرات فى بعض الكائنات تسبب موتها ، نتيجة لاختلال التكوين الجنيٰى الطبيعى أو للتأثير على بعض أعضاء أساسية أو عمليات فسيولوجية .

ولما كانت الأنواع المتطفرة حديثة عهد بالحياة وبالظروف البيئية التى تعيش فيها ، فمن الطبيعى أنها تكون أقل تجاوباً مع البيئة التى تعيش فيها من

الأنواع الأصلية التي تطفرت منها ، إذ أن الأنواع الأخيرة استطاعت أن تكيف نفسها للظروف البيئية التي ظلت تعيش فيها وتستجيب لها منذ آلاف السنين. ومن ثم وجد أن أغلبية الطفرات الجينية تؤثر تأثيراً ضاراً على الأنواع المتطفرة إذا ما قورنت بأسلافها المتطفرة منها . ولنذكر على سبيل المثال حالة ذباب الفاكهة ضامر الأجنحة المتطفر من أنواع طويلة الأجنحة (شكل ٤١٩) ، إذ وجد أنه لا يستطيع أن ينافس أترابه طويلة الأجنحة في البيئة العادية ، بسبب أن البيئة الأخيرة تتطلب من الذباب الطيران لقطع المسافات الطويلة للبحث عن الطعام ، مما يعد عسيراً بالنسبة للذبابات المتطفر ضامر الأجنحة ، الذي يعجز عن قطع مثل هذه المسافات . أما في الأماكن التي يتوفر فيها الطعام — مثل زجاجات التجارب في المعمل — فيقف الذباب ضامر الأجنحة على قدم المساواة في منافسة أترابه طويلة الأجنحة . ويرجع السبب الرئيسي للتأثير الضار للطفرة إلى أن النوع الأصلي (أو البري) قد تطور بالتدريج حتى أصبح في حالة اتزان أو تجاوب مع البيئة التي يعيش فيها ، بحيث يسبب أي انحراف — ناشئ عن الطفرة — حدوث حالة اختلال .

(شكل ٤١٩)



نوعان من الأجنحة المتطفرة في بعض إناث ذباب الفاكهة ، وترى إلى اليسار أجنحة ضامرة وإلى اليمين أجنحة أصغر حجماً من الأجنحة العادية (عن رابلي) .

وقد تسبب بعض الطفرات عقم أحد الجنسين أو كليهما ، فالجين المتطفر المسبب لضمور الأجنحة فى ذباب الفاكهة يؤثر أيضاً على تكوين البيض ، ومن ثم فنسبة العقم بين إناث الذباب ضامرة الأجنحة كبيرة ، ومن النادر جداً تكوين بيض فى المبيض . وقد أظهر دوبزهانسكى (Dobzhansky) أن الطفرات التى ظهرت فى مزارع ذباب الفاكهة — أو فى غيرها من الكائنات — يتراوح تأثيرها من تأثير قاتل تحت أقسى الظروف إلى تأثير أقل ضرراً ، ثم تأثير محايد لا هو بالنافع ولا هو بالضار ، إلى تأثير مواتى لازدياد الحيوية تحت أحسن الظروف .

أنواع الطفرات : وقد تظهر الطفرات فى النسيج الجسدى فى أى طور من أطوار التكوين . أما إذا حدثت الطفرة فى اللاقحة ذاتها فإن الكائن جميعه يظهر الصفة المتطفرة إذا كانت سائدة . وعند حدوث الطفرة فى ناحية من إحدى الخليتين الناتجتين من أول انقسام للاقحة فإن نصف الكائن الحى فقط قد يحمل الجين المتطفر . وإذا حدثت الطفرة فى طور متأخر من التكوين الجسدى فإن الخلايا الناتجة عن إنقسام الخلية المتطفرة هى وحده التى تحمل الجين المتطفر . وتتكون نتيجة لذلك بقعة أو أكثر من النسيج المتطفر فى جسد الكائن إذا كانت الصفة المتطفرة هى السائدة . ويتوقف عدد البقع المتطفرة على عدد خلايا الكائن التى حدثت فيها الطفرة أثناء النمو ، كما يتوقف حجم البقع على مرحلة التكوين التى نشأت فيها الطفرة . ومع أن الطفرة قد لوحظ حدوثها فى مراحل شتى من التكوين ، إلا أنها أكثر حدوثا قبيل أو خلال الانقسام الاختزالى — أثناء تكوين الجراثيم أو الأمشاج — كما يبدو فى النباتات والحيوانات .

الطفرات البرعمية (Bud mutations or sports) **:** تعـد الطفرات البرعمية — وهى نوع من الطفرات الجسدية (Somatic mutants) فى النباتات أكثر الأنواع أهمية من الوجهة الزراعية . ويحدث هذا النوع من الطفرات فى النسيج الإنشائى أو المرستيمى للبرعم ، فإذا ماحدثت الطفرة فى بداية

تكوين البرعم فإن جميع خلاياه تكون متطفرة ، وعندما ينمو البرعم إلى فرع خضرى أو شمراخ زهرى فإن جميع خلاياه تكون كذلك متطفرة ، أما إذا حدثت الطفرة فى مرحلة متأخرة من تكوين البرعم فينحصر التطفر فى بعض خلاياه دون البعض الآخر ، ومن ثم فيكون جزء من البرعم متطفرا والجزءالآخر غير متطفر أو عادياً، وبالمثل يكون الفرع الخضرى الناشىء منه مكونا من طرازين من الأنسجة ، أحـــدهما متطفر والآخر غير متطفر ،ويعرف هذا النوع من الطفرة فى الفرع — المكون من طرازين أو أكثر من الأنسجة المختلفة وراثيا — بالطفرة النسيجية أو الموزيكية (Mosaic mutation) .

والطفرات الجسدية فى النباتات — سواء أكانت برعمية أو نسيجية — تنشأ عن نفس الأسباب التى تنشأ عنها الطفرات بوجه عام . وتختلف أهمية الطفرات الجسدية فى النبات عنها فى الحيوان ، ففى الحيوانات تختفى الطفرات الجسدية بمجرد موت الحيوان ، أما الطفرات البرعمية فى كثير من النباتات فقد تظل إلى أجل غير مسمى . وذلك إما بوساطة التكاثر الخضرى للفرع الخضرى المتطفر وإما بالبذور التى ينتجها الشمراخ الزهرى المتطفر ، ومن أبرز الأمثلة على الطفرة البرعمية مايلاحظ من وجود نوعين من الخوخ أحدهما عادى والآخر يتميز بقشرة ملساء ومذاق حلو ويعرف بالنوع الرحيقى (Nectarine) ، وقد وجد بالتهجين بين النوعين أن النوع العادى سائد على النوع الرحيقى . ولكن قد تنتج أشجار الخوخ العادى طفرات برعمية من النوع الرحيقى ، كما قد تنتج أشجار الخوخ الرحيقى طفرات برعمية تعطى فروعا حاملة للخوخ العادى .

الطفرة والبيئة :

قد تتأثر سرعة الطفرة فى مختلف الجينات بالظروف البيئية ، فقد وجد موللر (Muller) مثلا أن الطفرات أكثر حدوثاً عند درجات الحرارة العالية منها عند درجات الحرارة المنخفضة ، كما وجد غيره من العلماء أن سرعة الطفرة تزداد فى النبات والحيوان عند التعرض للراديوم وأشعة إكس والضوء

فوق البنفسجى ودرجات الحرارة العالية أو الكثير من المعاملات بالمواد الكيماوية . وكانت هذه المشاهدات أول قبس من نور أضاء الطريق أمام العلماء لإحداث الطفرات صناعيا ، وبدأت أولى المحاولات فى هذا المضمار بتغيير بعض الظروف البيئية مثل كمية الغذاء وإحداث درجات غير عادية من الحرارة والرطوبة والضوء وبتعريض الكائنات للإشعاعات الراديومية وأشعة إكس . ومع أن غالبية هذه المحاولات باءت بالفشل فى المراحل الأولى من التجارب ، فقد نجح موللر فى إحداث بعض الطفرات فى أجنحة ذباب الفاكهة بتأثير الراديوم .

ولقد ازدهرت البحوث الخاصة باستحداث الطفرات الجينية بوساطة الإشعاع فى عامى ١٩٢٦ و ١٩٢٧ ، عندما نشر موللر نتائج أبحاثه عن تأثير أشعة إكس فى إحداث الطفرة فى ذبابة الفاكهة ، التى نال من أجلها جائزة نوبل للعلوم عام ١٩٤٦ . وبين العالم ستادلر (Stadler) الصلة بين أشعة إكس وإحداث الطفرات فى النبات ، كما سجل عالمان آخران طفرتين مستحدثتين فى نبات الداتورة (Datura stramonium) بتأثير إشعاعات جاما الصادرة من انبعاثات راديومية ، وتوالت بعد ذلك البحوث التى عززت استحداث الطفرات بتأثير الإشعاعات ، وتعد أشعة إكس والإنبعاثات الراديومية أكثر الوسائل تأثيراً فى إحداث الطفرات الجينية فى مختلف الكائنات ، من نبات وحيوان .

وهناك طرق شتى لإحداث الطفرات باستعمال أشعة إكس أو الانبعاثات الراديومية ، ففى النباتات تعالج بمثل هذه الإشعاعات البذور الكامنة والنابتة والبراعم الزهرية وحبوب اللقاح ، والطفرات التى تحدث فى نباتات ناتجة عن معاملة البذور التى نشأت منها — بالإشعاعات أو بغيرها من مسببات طفرية — تعرف بالطفرات البذرية (Seed mutants or sports). أما فى الحيوانات فتسلط الإشعاعات على الحيوانات المنوية والبيض غير الملقح أو المخصب ، وقد تعامل أيضاً الأنسجة الجسدية ، ولكن لاتحدث الطفرات الجسدية صفات موروثة.

الطفرة والتطور :

ثبت أن الطفرة تحدث بإحدى طريقتين :

١ — تغيير فى وحدة وراثية أو جين (Gene) فى صبغى ما (طفرة جينية أو موضعية) .

٢ — شذوذ أو عدم انتظام الصبغيات أثناء الانقسامات الخلوية ، مما ينتج عنه فقدان أو إضافة صبغيات بأكملها أو قطع صبغية إلى الصبغيات الثنائية المماثلة العادية (طفرة كروموسومية) .

وقد تبين أن مثل هذه التغييرات وضروب الشذوذ يمكن إحداثها بتأثير الإشعاعات وغيرها من وسائل صناعية ، وكان من الطبيعى أن يتبادر إلى الذهن السؤال التالى : ما مدى تأثير العوامل البيئية الطبيعية فى إحداث طفرات بين الكائنات يمكن أن ينتج عنها التطور وظهور أنواع جديدة ؟ .. ثبت عمليا إمكان إحداث الطفرات بتأثير العوامل الطبيعية ، فقد وضعت مزارع من ذباب الفاكهة فى مناطق عادية ووضعت أخرى فى مناطق تتميز عن المناطق العادية بزيادة الإشعاع — مثل المناجم المحتوية على خام به نسبة ضئيلة من الفلز المشع (اليورانيوم) — ووجد أن الذباب المتروك فى المناطق الاخيرة أظهر تطفراً أعلى بكثير من ذلك الذى ترك فى مناطق عادية ذات إشعاع طبيعى .

ووجد أيضاً أن درجات الحرارة العالية والهزات الحرارية تعمل على زيادة سرعة الطفرة ، ومما يعزز ذلك ماوجد من أن عدد أنواع النباتات فى المناطق الاستوائية أكثر منها جداً فى المناطق المعتدلة ، كما وجد أن حوالى ٨٠٪ من أنواع الزواحف وحوالى ٥٨٪ من أنواع الثدييات توجد بالمناطق الاستوائية .

وزيادة تردد الطفرات — نتيجة الإشعاعات الطبيعية أو درجات الحرارة العالية أو غيرها من ظروف بيئية — تسبب زيادة التغيرات الوراثية وظهور أنواع جديدة ، مما يهيء لناموس الانتخاب الطبيعي مكاناً ليقوم بدور هام فى تحديد التنافس بين الأنواع . أما الأنواع التى حدثت فيها الطفرة لغير مصلحتها فقد حاق بها الهلاك وطواها النسيان ، وأما تلك التى تطفرت فى مصلحة زيادة تجاوبها لظروف بيئتها فقد ازدهرت باستمرار وقدر لها البقاء .

الباب السادس والأربعون

الوراثة البشرية

(Human Herldity)

درسنا توارث الصفات — طبقاً لقوانين مندل — فى كل من النبات والحيوان . وقد جد أن هذه القوانين تنطبق أيضاً على الإنسان ، إلا أن دراسة الوراثة البشرية أكثر صعوبة بسبب طول عمر الإنسان مما لا يتيح لباحث واحد أن يتتبع أكثر من ثلاثة أو أربعة أجيال على الأكثر ، كما أن عدد الأفراد الناتجة قليل . ومما يزيد فى صعوبة علم الوراثة البشرية كثرة عدد الصبغيات بالخلية (٢ن = ٤٦) ، كما أن كثيراً من الصفات المتوارثة فى الإنسان تتحكم فيها عدة وحدات وراثية أو جينات (Genes) ، فمثلا لون العيون أو الشعر أو الجلد مسبب عن صفات متعددة الجينات (Polygenic) ، ولذلك تعد دراسة توارثها من الصعوبة بمكان .

ويمكن توضيح القانون الأول لمندل — وهو قانون الإنعزال — إذا تخذنا من ألوان عيون الإنسان مثلا . فإذا تزوج رجل ذوعيون زرقاء بامرأة زرقاء العينين فإن أولادهما يكونون جميعاً زرق العيون ، وكذلك إذا تزوج رجل ذو عينين عسيليتين بامرأة عسلية العينين أيضاً فإن جميع الأولاد تكون عيونهم عسلية ، على أن ذلك لايحدث إلا إذا كانت زرقة العيون أو عسليتها صفة أصيلة فى الأبوين ، بمعنى أن أسلافهما كانوا ذوى عيون زرقاء أو عسلية . أما إذا لم يكن اللون العسلى لعينى الأب أصيلا فى أسلافه — بل منهم من كانت عيونه زرقاء — ثم تزوج بامرأة زرقاء العينين ، فإن من أولادهما من تكون عيونه زرقاء اللون ومنهم من تكون عيونه عسلية . أما إذا تزوج رجل ذو عيون عسلية — وكانت هذه الصفة صريحة نقية فى أسلافه — بامرأة ذات عيون زرقاء ، وكانت زرقة العين صفة أصيلة فى أسلافها ، فإن أولادهما

جميعاً يكونون ذوى عيون عسلية ، لأن صفة عسلية العين تسود زرقاويتها . فإذا فرض حدوث تزاوج بين أفراد الجيل الأخير ، فإن ثلاثة فى كل أربعة من أفراد الجيل الثانى (أى الأحفاد) تكون عيونهم عسلية وواحد فقط تكون عيناه زرقاويتين ، حسب نسب القانون الأول لمندل (٣ : ١) .

وبالمثل ، إذا تزوج شخص ذو شعر مجعد زوجة سبطة الشعر ، فإننا نلاحظ أن غالبية الأولاد يكونون مجعدى الشعر ، بسبب سيادة صفة تجعد الشعر على سباطته . أما إذا تزوج شخص ذو عيون عسلية وشعر سبط بزوجة زرقاوية العينين مجعدة الشعر ، بمعنى الجمع بين صفة سائدة وأخرى متنحية فى كل من الزوجين ، فإننا نجد أن غالبية الأولاد يكونون ذوى عيون عسلية (وهى الصفة السائدة للون العيون) وشعر مجعد (وهى الصفة السائدة للشعر) .

ويهدف علم الوراثة البشرية نحو تحسين السلالة البشرية ، وذلك بالعمل على الإقلال من العيوب الطبيعية والعقلية فى الإنسان وزيادة الصفات المرغوب فيها مثل الذكاء ومقاومة الأمراض ، كما يهدف نحو دراسة الآلية التى تنتقل بها الصفات من الأجداد إلى الأبناء والأحفاد .

الأمراض الإنسانية :

الأمراض الإنسانية إما أن تكون أمراضاً بيئية أو وراثية . أما الأمراض البيئية (Environmental diseases) فمسببة عن الظروف البيئية التى يعيش فيها المصابون مثل الأمراض المسببة عن الإصابة البكتيرية أو الظروف الجوية أو نقص التغذية (مثل أمراض نقص الفيتامينات كأمراض البلاجرا أوجفاف العين والكساح وغيرها من الأمراض) . أما الأمراض التى تنتقل من الآباء إلى الأبناء — أو من جيل سالف إلى ما يليه من أجيال — فتعرف بالأمراض الوراثية (Hereditary diseases) ، ومن أمثلتها بعض الأمراض العقلية ، ويشخص الأطباء عادة مرضا ما بأنه وراثى إذا فشلوا فى إيجاد مسبباته البيئية .

وقد يقود الخطأ فى تشخيص نوعية المرض — ما إذا كان بيئيا أو وراثيا — إلى كثير من المتاعب والأضرار ، فمثلا كان يعتقد فيما مضى أن مرض الجذام Leprosy هو مرض وراثى ، وساد هذا الاعتقاد أمداً طويلا حتى أكتشف الميكروب المسبب له ، والمعروف علمياً باسم « باسيلاس ليبرو » (Leprobacillus) . وإبان الاعتقاد بتوارث مرض الجذام كان القانون يحول بين المصابين وبين ممارسة بعض حقوقهم الشرعية كالزواج وإنجاب الأطفال ، وذلك بدلا من علاجهم طبيا كغيرهم من المصابين بالأمراض البكتيرية . وبرغم ماكانوا يقاسون من حرمان فى حقوقهم الشرعية ، فقد أعطيت لهم حرية الانتقال من مكان إلى مكان ، ومن ثم كان المرض ينتشر باستمرار ويسبب إصابات جديدة على الدوام . فلما عرف أن الجذام مرض بيئى وليس وراثياً وضع المصابون فى معازل خاصة للمعالجة حتى لا يمتد المرض إلى الأصحاء ، وأبيح لهم الزواج بعد أن يتم لهم الشفاء .

الوراثة والبيئة :

ليس علم الوراثة البشرية فى مثل بساطة علوم الوراثة النباتية أو الحيوانية ، وذلك بسبب تضارب آراء علماء الوراثة والاجتماع ، فعلماء الوراثة من أمثلة جالتون (Galton) وبيرسون (Pearson) يؤكدون أهمية الوراثة ، أما علماء الاجتماع فيؤكدون عادة أهمية البيئة . والمقصود بالعوامل البيئية جميع العوامل الخارجية التى تؤثر فى الشخص منذ بدء نموه ، منذ كان جنينا داخل الرحم — يتأثر بجميع مافيه من حرارة ورطوبة وتغذية وغيرها من عوامل — إلى أن تلفظه ظلمات الأرحام إلى العالم الخارجى فيشب فيه متأثراً بالعوامل المحيطة به . أما العوامل الوراثية فهى العوامل التى توجد فى الكائن منذ عملية الإخصاب ، وتنتقل — بطريق الجينات المحمولة على الصبغيات — من الآباء والأمهات إلى الأبناء .

وبجانب الصفات التى أمكن إثبات عواملها الوراثية أو رد مسبباتها إلى عوامل بيئية ، توجد صفات معنوية — كالخلق مثلا — مازال العلماء تتضارب

اراؤهم بشأن أثر كل من الوراثة والبيئة فيها ، فالذين يؤكدون الأصل الوراثى للخلق — فيما يسمونه بالحاسة الخلقية (Moral sense) — هم بعض فلاسفة الأخلاق الذين يتحدثون عن هذه الحاسة كأنها ملكة وراثية توجد فى الشخص فتمكنه من التمييز بين الخير والشر . ولكن أثبت المحدثون من علماء النفس والوراثة خطل هذا الرأى . ولكى نحدد مرد سلوك الفرد إلى عوامل بيئية أو وراثية لابد أن نعمل على توحيد الظروف البيئية ما أمكن لتكون الفروق الناتجة بين الأفراد راجعة إلى العوامل الوراثية وحدها . أو نعمل على توحيد العوامل الوراثية ما أمكن لتكون الفروق الناتجة مردها إلى الظروف البيئية دون سواها .

ولما كانت الجينات — أو الوحدات الوراثية — هى التى تسيطر على الصفات الوراثية . فلا بد أن تكون الصفات الأخيرة غير مرتبطة بالظروف البيئية التى يعيش فيها الكائن . إلا أنه وجد بالتجربة وبالمشاهدة أن بعض الصفات المتوارثة قد تتفاوت فى درجة ارتباطها بالبيئة . فمن الصفات الوراثية — مثل لون العين وفصائل الدم — مالا تتأثر كلية بالظروف البيئية ، ومنها صفات — مثل الطول والصحة العامة — قد تتحرر استجابة للظروف البيئية التى يعيش فيها الكائن برغم كونها وراثية .

وسنتحدث عن ماهية العوامل البيئية التى قد تؤثر على الطرز المظهرية للوحدات الوراثية ، فى النبات والحيوان بوجه عام وفى الإنسان بوجه خاص وتنقسم هذه العوامل البيئية إلى خارجية وداخلية .

١ — **العوامل الخارجية :** تتمثل العوامل البيئية الخارجية فيما يأتى : درجة الحرارة ، الضوء ، التغذية . الرطوبة النسبية . ويمكن توضيح تأثير هذه العوامل فى الحيوان والنبات بنتائج التجارب الآتية :

(أ) **درجة الحرارة :** نبات زهر الربيع (**Primula**) تكون الأزهار حمراء اللون عند درجة حرارة ٢٠° مئوية . ولكن عندما يوضع النبات فى

درجة حرارة ٣٥° مئوية تكون الأزهار الجديدة بيضاء اللون : فإذا ماوضع النبات فى درجة حرارة منخفضة مرة أخرى ظهرت الأزهار الحمراء .

(ب) **الضوء :** تكون حشرات المن (Aphids) النامية فى ضوء مستمر عديمة الأجنحة . أما تلك التى تنمو فى ضوء متقطع فتكون مجنحة . وكذلك وجد بين النباتات صنف من الذرة الشامية إذا تركت حبوبه لتنضج داخل أغلفتها — لصيانتها من الضوء المباشر — أنتجت حبوباً بيضاء اللون . أماإذا أزيلت هذه الأغلفة وتعرضت الحبوب للضوء فإن لونها يصبح أحمر .

(ج) **التغذية :** إذا تغذت بعض الببغاوات خضراء الريش على دهون الأسماك ظهر فيها ريش أحمر وآخر أصفر مختلطاً بالريش الأخضر . وبالمثل يكون النبات أخضر عند توفر عنصر الحديد فى التربة ، فإذا لم يوجد هذا العنصر فإن لونه يكون أصفر .

(د) **الرطوبة:** يتميز بعض أفراد ذباب الفاكهة بوجود خطوط سوداء لاتلبث أن تختفى إذا عاشت تلك الأفراد تحت ظروف الجفاف ، فإذا ما انتقلت إلى بيئة عالية الرطوبة ظهرت فيها الخطوط السوداء .

٢ — **العوامل الداخلية :** تتأثر الصفات المتوارثة فى الثدييات — لاسيما الإنسان — بإفرازات داخلية من غدد عديمة القنوات ، تعرف بالغدد الصم ، وتنتشر إفرازاتها — وهى المعروفة بالهرمونات (Hormones) — فى الدم ، وتصل إلى كل جزء من أجزاء الجسم . ويتحكم كل هرمون فى نشاط عضو أو جهاز خاص ، كما يتبين من الأمثلة الآتية :

(أ) **ثيروكسين** (Thyroxin) : وهو هرمون تفرزه الغدة الدرقية ، ويتحكم فى سرعة النمو وفى عملية الأيض (التحول الغذائى) .

(ب) **أدرينالين** (Adrenalin) : وهو هرمون تفرزه الغدة الكظرية (فوق الكلوية) ، ويؤثر على عمل الجهاز العصبى والقلب والأوعية الدموية

(جـ) **إنسيولين** (Insulin) : وهو هرمون يفرزه البنكرياس ، ويؤثر على عملية الأيض السكرى .

(د) **الهرمونات الجنسية** (Sex hormones) : وهى إفرازات داخلية من المبايض والخصى ، وتؤثر على ظهور الصفات الجنسية الثانوية .

وينتج عن حدوث أى اختلال فى هذه الغدد — أو إفرازاتها — تغير فى بعض الصفات الوراثية ، فمثلا فى المرض المعروف بالقماءة (Cretinism) يصبح الفرد المصاب به ضعيف العقل والإدراك ويصير قزماً لنقص إفراز هرمون الثيروكسين . ويحدث التحول الجنسى (Sex reversal) نتيجة لتغيير الهرمونات الجنسية ، ومن أبرز أمثلته حالة الدجاجة التى تكون أنثى عادية ، تبيض كما تبيض الإناث ، حتى إذا ما أصيبت مبايضها بمرض السل توقفت عن إفراز هرموناتها الأنثوية ، وتحولت بالتدريج إلى ديك . ويرجع هذا التحول إلى أن للدجاجة عادة خصى أثرية ، يستحثها إيقاف إفراز الهرمونات الأنثوية على النمو وإفراز هرموناتها الذكرية ، مما يسبب تحول الدجاجة إلى ديك . وقد يحدث هذا التحول الجنسى فى الإنسان نتيجة لاختلال الغدد الجنسية .

نستنتج من ذلك أن الصفات الوراثية قد تتحور استجابة لظروف بيئية خارجية أو داخلية ، وتعد هذه الحقيقة من الأهمية بمكان فى الوراثة البشرية ، إذ تمكننا من معالجة بعض الأمراض الوراثية فى الإنسان باستحداث ظروف بيئية صناعية تعمل على تحوير الأمراض أو معالجتها ، ولكن لابد أن نتذكر أن تأثير البيئة مؤقت ولا يمتد إلى ما يعقبه من أجيال . وتستغل المستخلصات الهرمونية طبياً بنجاح فى علاج كثير من الأمراض الناتجة عن تأثير الظروف البيئية الداخلية على الصفات المتوارثة ، مثل أمراض القماءة والسكر وضغط الدم .

التـــوائم

تعد دراسة التوائم (Twins) من أهم الدراسات فى الوراثة البشرية ، وهناك نوعان من التوائم فى الإنسان .

(أ) **توائم ثنائية اللواقح** (Dizygotic) أو ثنائية البيض (Biovular) ، وهى التوائم التى تنتج عن إخصاب بيضتين منفصلتين فى نفس الوقت والمكان بحيوانين منويين مختلفين .

(ب) **توائم وحيدة اللاقحة** (Monozygotic) أو وحيدة البيضة (Uniovular) ، وهى التوائم التى تنتج عن انقسام لاقحة إلى نصفين ، كل نصف ينمو ليكون توأماً منفصلا مستقلا .

وفى التوائم ثنائية اللواقح يختلف الأطفال فى كثير من الصفات . فمثلا قد يكونان مختلفى الجنس . أحدهما ذكر والآخر أنثى . أما التوائم وحيدة اللاقحة فلابد أن يكونا من جنس واحد ، إذ يتكونان نتيجة لانشطار نفس اللاقحة إلى نصفين ، ينمو كل منهما إلى طفل منفصل . والذى يحدث فى مثل هذه الحالة أن الخليتين الناتجتين من أول انقسام للاقحة لا ترتبطان معاً لمواصلة الانقسام بل تنفصلان ليعطى كل منهما طفلا توأماً منفصلا. فإذا كان الانفصال غير تام نتجت مسوخ مزدوجة . ومن أشهر هذه المسوخ توائم سيام (Siamese Twins) .

وبسبب انحدار التوائم وحيدة اللاقحة من نصفى خلية واحدة — تتماثل فيهما الصبغيات وما تحمل من جينات — فإن هذه التوائم تبدى فيما بينها تشابهاً كبيراً يثير الدهشة ، حتى ولو قدر لهم أن يعيشوا بمعزل عن بعضهم البعض فى أماكن متفرقة قاصية . فمثلا قد يقترف أخوان توأمان جرائم متماثلة وهما يعيشان منفصلين فى أماكن مختلفة . أو يصابان بأمراض معينة — كأمراض حمى القش (Hay fever) والربو والسل — التى تبدأ تقريباً عند عمر معين وتتبع منهجاً متشابهاً فى التوأمين .

ولما كانت التوائم وحيدة اللاقحة تتماثل تماماً من حيث الجينات التى تحملها صبغياتها . فقد قام بعض العلماء بإيجاد درجة التشابه — بحساب معامل الارتباط — للصفات الجسدية (الطول . الوزن .. الخ) والعقلية (الذكاء . التحصيل الدراسى .. الخ) والخلقية (قوة ضبط النفس والاندفاع وتنفيذ الرغبة) فى مجموعتين ، إحداهما لتوائم أحادية اللاقحة والأخرى لتوائم ثنائية اللواقح كما يتضح من جدول (٣٧) .

(جدول ٣٧)

مقارنة درجة التشابه — ممثلة بمتوسط معامل الارتباط — فى بعض الصفات الجنسية والعقلية والخلقية لتوائم وحيدة اللاقحة وأخرى ثنائية اللواقح .

ماهية الصفات	متوسط معامل الارتباط للتوائم وحيدة اللاقحة	متوسط معامل الارتباط للتوائم ثنائية اللواقح	الفرق
جسدية	٩٤ ٪	٥٨ ٪	٣٦ ٪
عقلية	٨٨ ٪	٦٤ ٪	٢٤ ٪
خلقية	٤٧ ٪	٤٥ ٪	٢ ٪

وقام بعض الباحثين بعزل التوائم بعد الولادة مباشرة ، وتربيتهم فى بيئات مختلفة تتفاوت فيما بينها من حيث المعاملة والتعليم والمستوى الاقتصادى وغير ذلك ، وجاءت النتائج كلها معززة لثبوت التشابه الجسدى والعقلى بين التوائم بدرجة كبيرة وتغير نسبى فى الناحية الخلقية .

وقد ساعدت دراسة التوائم على إثبات وراثة الذكاء فى الإنسان . إذ حسب معامل ارتباط الذكاء فى الطرز المختلفة من التوائم وبين الأخوة وأبناء العم ومن لا قرابة بينهم ، كما يتضح مما يلى :

معامل ارتباط الذكاء	
توائم وحيدة اللاقحة متشابهة الجنس	٩٠ ٪
توائم ثنائية اللواقح متشابهة الجنس	٨٢ ٪
توائم ثنائية اللواقح مختلفة الجنس	٥٩ ٪
الأخوة	٥٠ ٪
أبناء العم	٢٧ ٪
من لا قرابة بينهم	—

وتدل هذه النتائج على أن الذكاء يورث . وأن أثر البيئة فى تغييره قليل ، فالأخوة — وهم يعيشون معاً فى منزل واحد — تكون درجة التشابه بينهم أقل بكثير منها بين التوائم ، كما ثبت أن التوائم وحيدة اللاقحة يتساوون إلى درجة كبيرة فى ذكائهم أثناء مراحل العمر المختلفة حتى ولو تفاوتت البيئات التى يعيشون فيها تفاوتاً كبيراً .

الصفات والعيوب المتوارثة فى الإنسان

يمكن تقسيم الصفات والعيوب المتوارثة فى الإنسان إلى الطرز الثلاثة الآتية :

(ا) تركيبية (Structural) .

(ب) وظيفية (Physiological) .

(ج) عقلية (Mental) .

وسنتحدث عن كل واحد من هذه الطرز الثلاثة :

(أ) صفات تركيبية

لون العين : يحتوى نسيج العين على جسيمات دقيقة تعمل على انعكاس الضوء الأزرق ، وعلى نسق متشابه لانعكاس الضوء من السماء ، فإذا لم يوجد ما يحول دون هذا الانعكاس بدت العيون زرقاء ، إلا أنه كثيراً ما يوجد

فى الجزء الأمامى من قزحية العين صبغ بنى ، فإذا كان هذا الصبغ كثيفاً كانت العيون بنية قاتمة ، وإذا كان أقل كثافة تفاوت لون العين ما بين البنى الفاتح والأخضر الرمادى ، كما تتأثر ماهية اللون أيضاً بتركيب القزحية ذاتها .

ويبدو على وجه الإجمال أن غياب الصبغ البنى (أو القزحية الزرقاء) صفة متنحية بالنسبة لوجود هذا الصبغ ، أو بمعنى آخر تسود صفة بنية العيون على زرقاويتها . فإذا كانت هذه العلاقة صحيحة فإن الزواج بين أبوين زرقاوى العيون لابد أن ينتج أطفالا زرق العيون ، ولكن يحدث أحياناً أن تكون عيون الأطفال بنية اللون ، وقد أمكن تفسير ذلك بأن أحد الأبوين يحمل عاملا وراثياً لبنية العيون مصحوباً بعامل آخر سائد مانع له ، ومن ثم فإن الطفل الذى يرث عامل بنية اللون دون العامل المانع له يكون ذا عيون بنية . وفى الأشخاص الشقر يختفى اللون الأزرق والبنى لقزحية العين وتصبح الأخيرة أرجوانية اللون ، ويرتبط هذا اللون بطريقة ما بصفة الشقرة التى تؤثر بوجه عام — بجانب تأثيرها على لون العين — على لون الشعر والجلد .

لون الجلد : يتوقف لون الجلد على عدد من العوامل الوراثية ، ويحتوى غالبية السلالات البشرية على صبغ بنى تتفاوت درجة تركيزه باختلاف السلالات . ويسود لون الجلد الغامق على اللون الفاتح ، ولو أن السيادة مشتركة حيث توجد ألوان وسطية . وتظهر حالة الشقرة (Albinism) عند غياب الصبغ كلية من الجلد ، وتنتج هذه الحالة عن تغير مفاجىء يعترى العامل الوراثى المسيطر على لون الجلد فيتحول إلى عامل متنحى للون .

الصفات الوجهية (Facial characters) : مثل سمك الشفاه وحواجب العين ، وشكل الأذن والأنف . وغير ذلك من ملامح الوجه . كما يتأثر لون الشعر وتركيبه وطريقة توزيعه ببعض العوامل الوراثية ، ويورث الصلع كصفة سائدة فى الرجال ومتنحية فى النساء .

شكل الرأس :

ولما كانت صفة شكل الرأس من الأهمية بمكان عند العلماء المشتغلين

بعلم وصف الإنسان أو الأنثروبولوجيا (Anthropology) ، فقد اتخذت دراسة شكل الرأس أهمية خاصة فى علم الوراثة البشرية . ويقاس الشكل عادة بمعيار خاص يعرف بالمعيار الرأسى (Cephalic index) ، وهو النسبة بين أوسع أجزاء الرأس عرضاً وأكثرها طولا ، وتعد النسبة ٠,٧٢ منخفضة والنسب ٠,٨٦ مرتفعة ، وتنبىء النسبة الأولى عن رأس ضيق مستطيل والثانية عن رأس مستدير . وأكبر دليل على وراثية شكل الرأس ما وجد من أن الشكل أكثر تشابهاً بين التوائم وحيدة اللاقحة منه بين التوائم ثنائية اللواقح .

ومما يعوق دراسة وراثية شكل الرأس دراسة مستفيضة ما وجد من تداخل بعض العوامل البيئية ، فالنمو على وجه الإجمال — بما فيه نمو الرأس وتشكله — تسيطر عليه الهرمونات لا سيما هرمون الغدة النخامية (Pituitary gland) ، وقد وجد فى الأحقاب الأخيرة أن نمو الإنسان أخذ فى الازدياد كما يبدو من قوامه العام ، وقد يرجع ذلك إلى زيادة معرفة الإنسان بأهمية الهرمونات والفيتامينات . ولعل السؤال الذى يتبادر إلى الذهن هو : ما مدى علاقة النمو بالمعامل الرأسى ؟ .. وللجواب على هذا السؤال نذكر أن التجارب التى أجريت على الفئران أثبتت أن نقص فيتامين (أ) يسبب نقصاً فى طول الجمجمة ، ومن ثم زيادة فى النسبة بين العرض والطول ، وقد تحدث تأثيرات مشابهة فى الإنسان . وقد وجد دن (Dunn) أن شكل الرأس العريض يسود الشكل المستطيل ، كما لاحظه فى الجيل البنوى الناتج عن التزاوج بين أهالى جزر هاواى الأصليين ذوى الرؤوس العريضة وبين المستوطنين لهذه الجزر من الأوروبيين مستطيلى الرؤوس .

عيوب الأسنان :

وجد أن بعض العيوب التى تعترى الأسنان وراثية ، فهناك عوامل وراثية سائدة تسبب عيوباً مثل غياب الأسنان القاطعة العلوية وبعض الأسنان القاطعة الأخرى والضروس ، كما أن هناك عوامل تعمل على اختفاء الأنياب

العلوية أو سن أو سنتين من أسنان العقل أو الأسنان الإضافية . ومن العوامل الوراثية السائدة ما تعمل على إفساد لون الأسنان مما تسببه من اصطباغها بلون بنى . وفى بعض عائلات لا يوجد السنان القاطعان الوسطيان فى الفكين نتيجة لعامل وراثى متنحى .

شواذ عظمية (Bone abnormalities) :

هناك عدد من العوامل الوراثية تسيطر على الهيكل العظمى للإنسان فتسبب تشويهه أو تحويره ، ومن أمثلة ذلك العامل السائد المسبب للصدر المجوف (Hollow chest) ، حيث يبدو صدر الأفراد الحاملين لهذا العامل منضغطاً كأنه تقلص إلى الداخل بفعل ضربة كرة ، وهناك من العوامل السائدة الضارة ما ينتج عن وجودها نمو زوائد غضروفية للعظام ، كما أن هناك عوامل سائدة تؤثر على تكوين العظام فتجعلها لينة بحيث تكون سهلة الإنكسار ، ومن ثم يتعرض الأفراد الحاملون لمثل هذه العوامل طول حياتهم لكثير من الشجات العظمية .

وترجع الطرز المختلفة من التقزم (Dwarfism) إلى عوامل وراثية ، ففى طراز التقزم غير المتكامل (Ateliotic) يكون القزم متناسق الأعضاء والأجزاء ولكن تكون جميع أعضائه ضئيلة الحجم كثيراً إذا ما قورنت بمثيلاتها فى الفرد العادى ، ويبدو أن هذا الطراز من التقزم ينتج عن تفاعل عاملين سائدين . أما طراز التقزم الكساحى (Achondroplastic) فيتميز بالنمو الطبيعى للجذع وبالتقلص الكبير للأطراف ، ويرجع كذلك إلى وجود عاملين سائدين .

أما حالات الشذوذ المتوارث فى أصابع اليد والقدم فكثيرة ، ومن أمثلتها ما يأتى :

١ ــ **التحام سلاميات الأصابع** (Symphalangy) : وهى حالة تلتحم فيها عظام السلاميات عند المفاصل ، فتصبح الأصابع بذلك صلبة منثنية الأطراف دون قصر فى الطول (شكل ٤٢٠) .

٢ — التصـــاق الأصـــابع (Syndactyly) : وهى حالة تلتصق فيها أصابع اليد أو القدم التصاقاً جانبياً ، قد يكون فى بعض الحالات التصاقاً جلدياً وفى حالات أخرى التصاقاً عظمياً .

٣ — قصـــر الأصـــابع : (Brachydactyly) : وينتج عن غياب السلامية الوسطية للأصبع ، فيبدو قصيراً جداً إذا قورن بمثيله فى الفرد العادى .

(شكل ٤٢٠)

مرض التحام سلاميات الأصابع (عن هيفنر (مجلة الوراثة) .

٤ — قصر سلاميات الأصابع (Brachyphalangy) : وهى حالة يقصر فيها أصبع أو أكثر نتيجة لقصر السلاميات ذاتها .

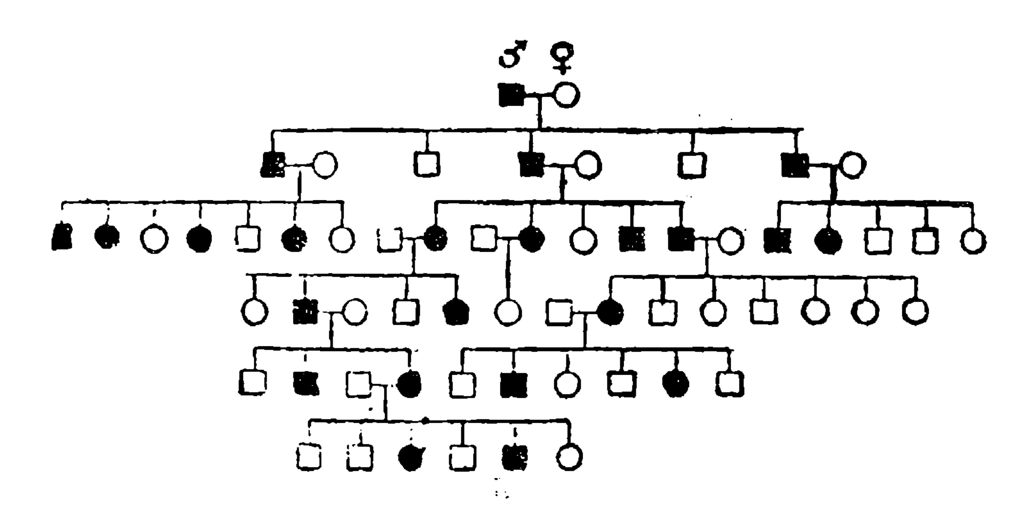
٥ — تضاعف أصبعى (Polydactyly) : وهى حالة توجد فيها أصابع يد أو قدم زائدة بالإضافة إلى الأصابع العادية .

٦ — إنثناء أصابع الخنصر (Minor Streblemicrodactyly) : وفى هذه الحالة يتميز أصبع الخنصر بانثنائه .

ويرى فى (شكل ٤٢١) التاريخ العائلى للتزاوج بين أفراد يظهر فيها أحد الأبوين حالة التحام سلاميات الأصابع ، ويلاحظ أنه فى كل حالة زواج يظهر فيها أطفال متصلبو الأصابع يكون أحد الأبوين كذلك متصلب الأصابع . ولما كانت هذه الظاهرة مستمرة فى جميع الحالات التى يكون فيها أحد الأبوين متصلب الأصابع ، فإن ذلك يدل على سيادة هذه الصفة ، وكذلك ثبت أن قصر الأصابع صفة سائدة . أما حالة التصاق الأصابع (Syndactyly) فيبدو أنها تظهر فى بعض عائلات عن عامل وراثى سائد وفى عائلات أخرى عن عامل متنحى ، إلا أن غالبية ما سبق من الحالات الشاذة للأصابع ترجع إلى عوامل وراثية

سائدة ، حيث تبين وجود أطفال شواذ فى كل جيل — يبلغ عددهم النصف أو يزيد — فى كل حالة يكون فيها أحد الأبوين مظهراً لإحدى هذه الحالات الشاذة .

(شكل ٤٢١)



التاريخ العائلى لأفراد مصابين بمرض التحام سلاميات الأصابع (Symphalangy) حيث يرمز للذكر بمربعات والاناث بدوائر ، وتظلل هذه الرموز بالأسود فى حالة الإصابة بالمرض ، ويلاحظ فى كل حالة زواج يكون فيها أحد الأبوين مصابا ظهور طفل أو أكثر مصابا بالمرض ، مما يدل على سيادة صفة هذا المرض (عن شول) .

وبالإضافة إلى ما سبق من صفات تركيبية متوارثة ، توجد عوامل وراثية تؤثر على تركيب العيون فتسبب فقدان قوة إبصارها ، وعلى تركيب الآذان فتحرمها السمع ، إلى غير ذلك من حالات كثيرة يطول شرحها .

(ب) صفات وظيفيــة

هناك صفات وظيفية متوارثة ، لا يرجع سببها إلى تركيب عضو أو جهاز خاص ولكن إلى وظيفة هذه الأجهزة أو الأعضاء ، وسنذكر على سبيل المثال الحالات الآتية :

العمى النهارى (Day blindness) : ويستطيع الأشخاص المصابون بهذا المرض الرؤية فى ضوء القمر أو فى ضوء آخر خافت ، ولكن يعجزون تماماً عن الإبصار فى ضوء النهار الساطع ، ويرجع هذا المرض إلى عامل وراثى

متنحى كما ظهر من دراسة التاريخ العائلى (Family history) لبعض الأفراد المصابين به .

قصر النظر (Myopia) : وفى هذا المرض تتشكل أجزاء العين بحيث تتركز الرؤية على المرئيات القريبة ، بينما يكون من العسير تبين المرئيات البعيدة ويبدو أن هناك أكثر من عامل وراثى يسيطر على صفة قصر النظر ، بسبب أنها تكو ن متنحية فى بعض الأنساب وسائدة فى أنساب أخرى .

طول النظر (Hyperopia) : وفيه تتشكل أجزاء العين بحيث تتركز الرؤية على المرئيات البعيدة ويتعذر تبين المرئيات القريبة ، ويورث كصفة سائدة .

عدم سداد البصر (Astigmatism) : ينتج هذا المرض عن التقوس غير المتساوى لقرنية العين فى الاتجاهات المختلفة ، بحيث تبدو الخطوط الرأسية واضحة عند بؤرة مرئية خاصة بينما تكون الخطوط الأفقية مشوهة ، وهى صفة سائدة غالباً . ووجد فى بعض العائلات — التى تظهر فيها هذه الصفة باستمرار — أن المحور الذى يصل فيه التقوس إلى ذروته متماثل فى جميع الأفراد .

حول العين (Strabismus) : وفيه لا تستطيع محاور العينين أن تتجه وجهة واحدة لتتركز على نفس البؤرة المرئية ، وذلك لعدم التناسق بين عضلاتها ، ويورث الحول كصفة متنحية .

الصمم والبكم (Deaf-mutism) : وينتج هذا المرض عن عيب فى عصب السمع أو فى المراكز السمعية للمخ . ويورث كصفة متداخلة الفعل الجينى لزوجين من الجينات .

التذوق (Taste) : وجد أن الأفراد يختلفون فيما بينهم من حيث قدرتهم على تبين مذاق مادة ما مثل فينيل ثيوكارباميد (Phenylthiocarbamide) ، فكثير منهم يعجزون عن أن يتبينوا لها أى مذاق ، و قلة منهم يستطيعون أن يتذوقوها كمادة شديدة المرارة أو حامضية ، وتورث حاسة تذوق هذه المادة كصفة سائدة .

الحساسية (Allergy) : وهى صفة فسيولوجية تتمثل فى حساسية بعض الأفراد للبروتينات الدخيلة أو لغيرها من المواد ، ومن أمثلة هذه المواد المسببة للحساسية والالتهاب حبوب القاح وبعض مواد الطعام والغبار . ومن أمراض الحساسية الأمراض الآتية : حمى القش (Hay fever) والربو (Asthma) والجدرى الكاذب (Hives) والإكزيما (Eczema) الإستسقاء (Edema) والصداع نصف الرأسى (Migraine) ، وترجع هذه الحساسية إلى عامل وراثى سائد ، ويتميز الشخص الحامل لهذا العامل بأنه شديد الحساسية لبعض المواد الدخيلة — التى تكون غالباً مواداً بروتينية — فإذا تعرض لمادة من هذه المواد فإنه لا يلبث أن يبدى تفاعلا ضدها . وأفراد العائلة الواحدة الذين يحملون نفس العامل الوراثى قد يكونون شديدى الحساسية لأشياء كثيرة ، قد تتمثل فى بعض الأحيان بحمى القش وفى أحايين أخرى بجدرى كاذب ، ولكن غالباً مايتشابه نوع التفاعل بين أفراد العائلة الواحدة .

ضغط الدم : من أهم خصائص الأوعية الدموية احتفاظها بضغط دم ثابت ، يبلغ عادة فى الأشخاص متوسطى العمر حوالى ١٤٠ مم من الزئبق ، ولكن قد يكون عالياً فى بعض الأشخاص بحيث يصل إلى ١٦٠ أو ١٨٠ وحتى إلى ٢٠٠ مم أحياناً ، مما يعد عبئاً ثقيلا وخطيراً على القلب ، ويورث ضغط الدم العالى كصفة سائدة . إلا أنه قد يتحور كثيراً استجابة للظروف البيئية مثل نوع الطعام ومدى ما يبذله الفرد من مجهود عقلى .

مرض السكر (Diabetes mellitus) : يرجع مرض السكر إلى العجز عن استغلال الكربوإيدراتات استغلالا طبيعياً ، فيظهر فى البول على هيئة سكر بسبب عجز خلايا البنكرياس عن انتاج هرمون الإنسيولين . ولذلك تزداد كمية البول ويشعر المريض بالعطش والجوع ولا يلبث أن يعتريه هزال شديد . ويورث المرض كصفة متنحية ، ومن المشاهد أن الرجال أكثر قابلية للإصابة بالمرض من النساء . ولكن لا يدل ذلك على أى ارتباط بين المرض والجنس .

ديابيطس غير سكرى (Diabetes insipidus): يتميز هذا المرض بكثرة

التبول . ولكن يخلو البول فى هذه الحالة من زيادة فى السكر أو أية مادة أخرى غير عادية ، ويشعر المريض بالعطش ، ويورث هذا المرض كصفة سائدة .

التهاب مفصلى (Arthritis) : يسبب هذا المرض التهاب المفاصل مصحوباً بتراكم البولات (Urate) فى الأنسجة وحمض البوليك (Uric acid) فى الدم ، ويورث المرض كصفة سائدة .

وراثية المقاومة وقابلية الإصابة ببعض الأمراض : دلت الدراسات على التوائم على إمكان توارث مرض الدرن (Tuberculosis) ، فنى ٣٧ زوجا من التوائم وحيدة اللاقحة كان ٢٦ زوجا منها متشابهة و ١١ زوجا مختلفة من حيث علاقتها بمرض الدرن ، وفى ٦٩ زوجا من التوائم ثنائية اللواقح ثبت تشابه ١٧ زوجا منها بينما اختلف ٥٢ زوجا ، مما يعد دليلا قاطعاً على وراثية المرض . وبالمثل ثبت إمكان توارث مرض السرطان ، إذ وجد أن عدداً من التوائم وحيدة اللاقحة تظهر أوراماً سرطانية متشابهة . كما وجد أن ظهور مرض السرطان فى نفس العائلة يكاد يظهر فى أفرادها عند عمر مماثل ويصيب نفس العضو . وقد وجدت عوامل وراثية متنحية تسبب قابلية الإصابة لأمراض شلل الأطفال (Poliomyelitis) والدرن والحمى القرمزية والدفتريا .

(ج) صفات عقليـة

تعد دراسة وراثة الصفات العقلية أكثر تعقيداً من دراسة الصفات التركيبية والوظيفية . ولكن منها ما ترتكز على أسس وراثية محددة ومن أمثلتها ما يأتى :

التبلد العقلى (Feeble mindedness) : توجد طرز كثيرة من التبلد العقلى ، منها ما ترجع إلى مسببات بيئية كنتيجة للإصابة بمرض الزهرى أو للإدمان على الخمر . ومنها ما ترجع إلى القماءة (Cretinism) المسببة عن عجز بعض الإفرازات الهرمونية . ومنها ما ترتكز على أسس وراثية ، فقد وجد جودارد (Goddard) عند دراسته لبعض العائلات — التى يكون فيها كلا الأبوين

متبلد العقل — أن من الأطفال ٤٧٠ يكونون متبلدى العقول وستة يكونون عاديين . وعند دراسة عائلات أخرى — يكون فيها أحد الأبوين متبلد العقل والآخر عادياً متباين التركيب الوراثى (Heterozygous) — وجد أن ١٩٣ من الأطفال يكونون متبلدى العقول و١٤٤ يكونون عاديين (أى بنسبة تقريبية قدرها ١ : ١) . وفى ٢٦ عائلة — يكون فيها كل من الأبوين متباين التركيب الوراثى للتبلد العقلى — نتج ٨٣ طفلا عاديا و ٣٩ طفلا متبلد العقل (بنسبة تقريبية ٣ : ١) . ولعل النسب التقريبية فى الحالتين توحى بأن التبلد العقلى ينتج عن عامل وراثى متنحى .

الجنون الخفيف (Schizophrenia) : يعتقد أن الجنون يورث ، وأنه مسبب عن عدد من العوامل المتنحية . ولكن لا زالت آلية وراثة الجنون تستلزم الكثير من الدراسات التفصيلية .

البلاهة والعمى (Amaurotic Idiocy) : يولد الأطفال المصابون بهـذا المرض عاديين ، ثم يفقدون بصرهم بعد فترة ما ويعجزون عن السير وتأخذ قدرتهم العقلية فى الاضمحلال وهم ما زالوا فى باكورة سنوات الطفولة . وينتج المرض عن انحلال العقد العصبية والشبكة العينية ، ولا يلبث المصابون بهذا المرض إلا قليلا حتى يحيق بهم الموت وهم فى باكورة الحياة ، ويورث المرض كصفة متنحية .

الصرع (Epilepsy) : يتميز هـذا المرض بحدوث نوبات إغماء وتشنجات عضلية مميزة ، ويبدو أن السبب الرئيسى له حدوث اختلال فى الموجات المخية ، فقد دلت جميع حالات الصرع التى فحصت على أنها ناتجة عن تذبذبات واسعة غير منتظمة فى الموجات المخية ، على أن جميع التذبذبات لا تسبب حالات صرعية ، وتورث تذبذبات الموجات المخية كصفة سائدة . ومما يدل على وراثية التذبذبات الموجية المخية ما وجد من انطباقها وتشابهها فى التوائم وحيدة اللاقحة ، كما تبين من قياس الموجات المخية بمقياس المخ الكهربى (Electroencephalograph) .

الذكاء (Intelligence) : سبق إثبات إمكانية توارث الذكاء عند التحدث عن التوائم .

صفات مرتبطة بالجنس

يشبه الإنسان — من حيث توزيع الصبغيات الجنسية — ذبابة الفاكهة أى أنه من طراز (س ص) . فنى الإنسان تحتوى كل خلية على ثلاثة وعشرين زوجاً صبغياً . يتماثل صبغياً كل زوج منها — بما فى ذلك الصبغى الجنسى — فى الإناث . أما فى الذكور فيوجد اثنان وعشرون زوجاً صبغياً ذاتياً متماثلا ويختلف الصبغيان المكونان للزوج الثالث والعشرين — وهو الزوج الصبغى الجنسى — فى الشكل والحجم (شكل ٤٢٢) . إذ يكون الصبغى (ص) منضمراً للغاية وغالباً لا يحمل جينات على الإطلاق . بينما يكون الصبغى (س) مميزاً ومماثلا تماماً لكل من الصبغيين الجنسيين الأنثويين . ومن ثم فينتج الرجال نوعين مختلفين من الحيوانات المنوية ، أحدهما يحمل الصبغى الجنسى (س) والآخر (ص) ، أما النساء فلا ينتجن إلا نوعاً واحداً من البيض (س). ويرتبط جنس المولود بحيوية ونشاط أحد النوعين من الحيوانات المنوية ويقال أن الحيوانات المنوية الحاملة للصبغى (ص) — والتى ينتج عن إخصابها البيض أجنة ذكرية — تتحرك بسرعة أكبر نسبياً من تلك الحاملة للصبغى (س) والتى ينتج عن اتحادها مع البيض أجنة أنثوية ، ولكن ما زال هذا الموضوع قيد البحث .

(شكل ٤٢٢)

منظر جانبى لخلية مولدة للحيوانات المنوية أثناء الانقسام الاختزالى لتكوين هذه الحيوانات فى الإنسان ، ويرى الصبغيان الجنسيان (س ، ص) يتجه كل منهما فى اتجاه مضاد لاتجاه الآخر نحو أحد قطبى المغزل (عن شول) .

وبسبب اختلاف الصبغيين الجنسيين فى خلايا الذكور وتماثلهما فى خلايا الإناث

توجد صفات خاصة ترتبط بجنس دون الآخر ،وتعرف مثل هذه الصفات بالصفات المرتبطة بالجنس (Sex-linked characters) وسندرس منها مثالين هما :

(أ) **مرض نزف الدم** (Haemophilia) : وينشأ عن عدم قدرة الدم على التجلط ، ومن الخطر على المصابين بهذا المرض أن يخلعوا أسنانهم أو أن يجرحوا لأنهم إذا أصيبوا بجرح بسيط فإنهم يستمرون فى الإدماء حتى يحيق بهم الموت ، ولو أن هذا الجرح لا يعد شيئاً مذكوراً بالنسبة للإنسان العادى . وغالباً ما يموت المصابون بهذا المرض قبل أن يبلغوا سن العشرين .

(ب) **العمى اللونى** (Colour blindness) : وهو عدم القدرة على التمييز بين اللونين الأحمر والأخضر .

والمرضان أكثر حدوثاً فى الذكور وقلما يظهران فى الإناث . فبنت الرجل تبدو طبيعية ، ولكنها تنقل المرض إلى نصف أبنائها الذكور ولا تنقله إلى بناتها .

نزف الدم :

ويتسبب مرض نزف الدم عن عامل وراثى متنحى محمول على الصبغى الجنسى (س) ، أما الصبغى (ص) فلا يمت إليه بأية صلة ولا يحمل أية جينات خاصة بهذا المرض. فإذا رمزنا للعامل السائد الذى يحول دون ظهور المرض بالرمز (م)، والعامل المتضاد معه والمسبب للمرض بالرمز (ه) فإن الرجل إما أن يكون نزافاً (. ه) أو طبيعياً (. م) . بفرض أن النقطة تمثل الصبغى الجنسى (ص) الخالى من العوامل الوراثية . وبالمثل يكون التركيب الوراثى للمرأة النزافة هو (ه ه) وللمرأة الطبيعية (م م) وللناقلة (م ه) والأخيرة هى التى تحمل المرض ولكن لا تظهره . وقد لوحظ أن النساء النزافات من الندرة بمكان لأن اجتماع العاملين المتنحيين لنزف الدم له تأثير على الأجنة الأنثوية الحاملة لها ، فتسبب موتها فى بدء تكوينها. ويرى فى الشكل (٤٢٣) نتائج التزاوج بين :

١ - رجل طبيعي وامرأة ناقلة (شكل ٤٢٣ : ا) .

٢ - رجل طبيعي وامرأة نزافة (شكل ٤٢٣ . ب) .

٣ - رجل نزاف وامرأة ناقلة (شكل ٤٢٣ : ج) .

فإذا تزوج رجل طبيعي بامرأة ناقلةللمرض كان نصف الذكور من الجيل الأول نزافين والنصف الآخر طبيعيين ، أما الإناث فيكون نصفهن ناقلات والنصف الآخر طبيعيات . وإذا تزوج رجل طبيعي بامرأة نزافة كان جميع الذكور نزافين وجميع الإناث ناقلات . أما إذا تزوج رجل نزاف بامرأة طبيعية فإن الذكور يكونون جميعاً طبيعيين بينما تكون جميع الإناث ناقلات .

العمى اللونى :

وعلى نسق مشابه ترتبط صفة العمى اللونى بالصبغيات الجنسية ، إذ أنها تنتج عن عامل وراثى متنحى - نرمز له بالرمز (ء) - محمول على الصبغى الجنسى (س) . أما العامل السائد المتضاد معه (ع) فيسبب غياب المرض ، ولا يحمل الصبغى الجنسى (ص) أية عوامل وراثية على الإطلاق ولذلك يرمز له كما سبق بنقطة . ومن ثم يكون التركيب الوراثى للأشخاص - بالنسبة للمرض - هو كالآتى :

(. ء) . . . . ذكور مصابون بالعمى اللونى .

(. ع) . . . . ذكور عاديون .

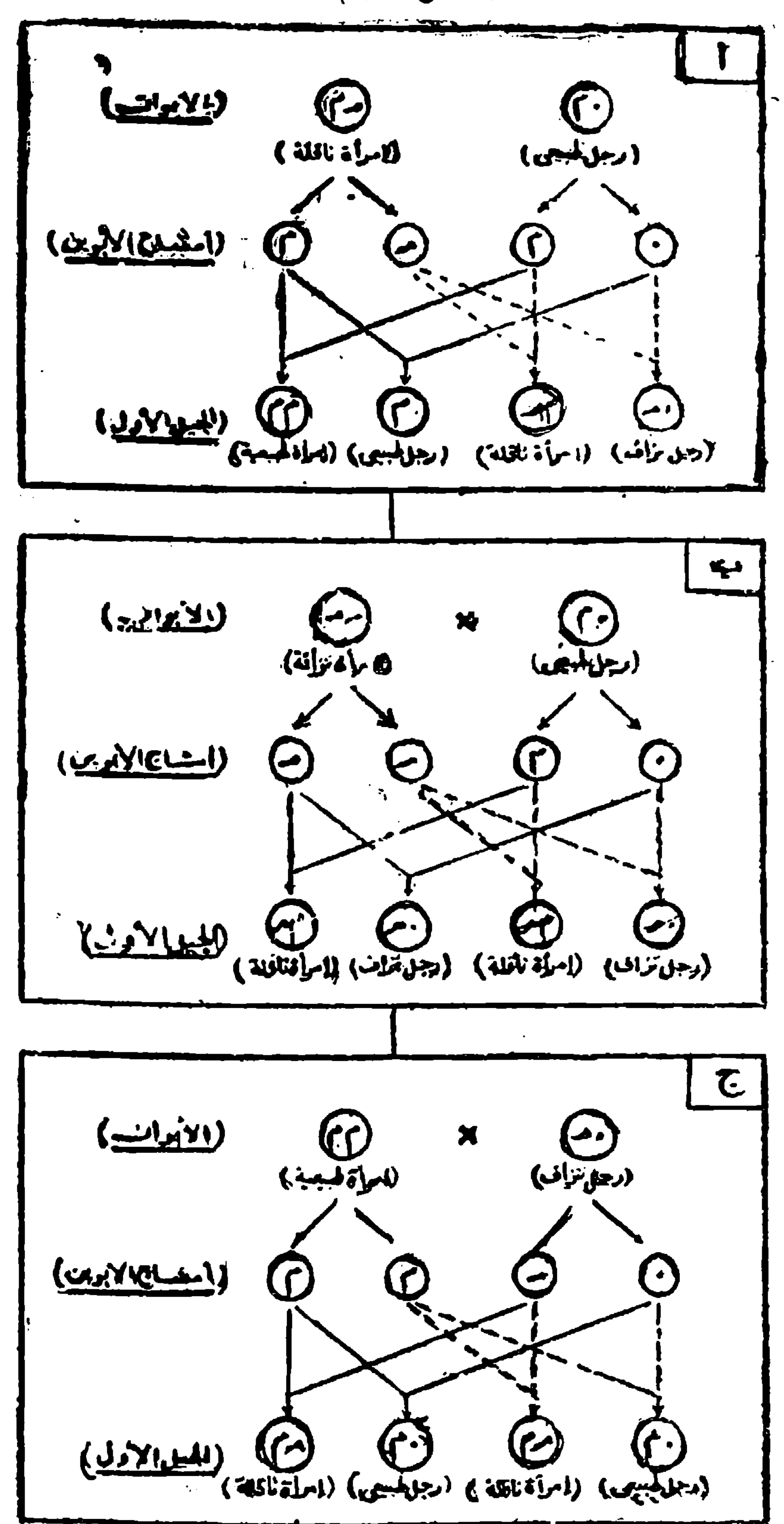
(ء ء) . . . . إناث مصابات بالعمى اللونى .

(ء ع) . . . . إناث ناقلات للعمى اللونى .

(ع ع) . . . . إناث عاديات .

فإذا تزوج رجل مصاب بالعمى اللونى (. ء) بامرأة عادية (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالآتى : ٥٠ ٪ ذكور عاديون (. ع) ٥٠ ٪ إناث ناقلات للمرض (ء ع) .

(شكل ٤٢٣)



رسوم تخطيطية تبين نتيجة التزاوج بين : (ا) رجل طبيعي وامرأة ناقلة لمرض نزف الدم ، (ب) رجل طبيعي وامرأة نزافة ، (ج) رجل نزاف وامرأة طبيعية . ويرجع مرض نزف الدم الى وجود العامل الوراثي المتنحي (ه) على الصبغي الجنسي (س)

أما إذا تزوج رجل عادى (. ع) بامرأة ناقلة للمرض (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالآتى : ٢٥ ٪ ذكور عاديون (. ع) ، ٢٥ ٪ ذكور مصابون بالعمى اللونى (. ع) ، ٢٥ ٪ إناث عاديات (ع ع) ، ٢٥ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) .

أما إذا تزوج رجل طبيعى (. ع) بامرأة مصابة بمرض العمى اللونى (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالآتى : ٥٠ ٪ ذكور مصابون بالمرض (. ع) ، ٥٠ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) .

فإذا تزوج رجل مصاب بالعمى اللونى (. ع) بامرأة ناقلة للمرض (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالآتى : ٢٥ ٪ ذكور عاديون (. ع) ، ٢٥ ٪ ذكور مصابون بالعمى اللونى (. ع) ، ٢٥ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) ، ٢٥ ٪ إناث مصابات بالعمى اللونى (ع ع) .

يتضح مما سبق أن غالبية الأشخاص الذين يصابون بمرض العمى اللونى هم من الذكور دون الإناث ، ويرجع ذلك إلى أن خلية الذكور لا تحتوى إلا على صبغى جنسى واحد من طراز (س) ، ومن ثم فيرتبط ظهور المرض او غيابه بماهية عامل وراثى منفرد ، فإذا كان هذا العامل متنحياً ظهر المرض. أما الإناث فلا يظهر العمى اللونى إلا فى حالة واحدة ، هى حالة زواج رجل مصاب بالمرض بامرأة حاملة له . إلا أن هذه الإناث تموت فى بدء أطوارها الجنينية نتيجة للتأثير القاتل لتفاعل الصفتين المتنحيتين ، بنفس الطريقة التى سبق سردها فى حالة مرض نزف الدم .

سلسلة العوامل الألليلية وفصائل الدم فى الإنسان

من أهم الصفات المميزة للإنسان من الوجهة الوراثية فصائل الدم (Blood groups) ، إذ يتوقف نوع فصيلة دم كل إنسان على طرز فصائل دم أبويه . والعوامل الوراثية المسئولة عن توارث فصائل الدم فى الإنسان ليست من البساطة بنفس الدرجة كالعوامل المتضادة الثنائية التى سبق شرحها .

ولكنها عوامل أكثر تعقيداً ، وتعرف بسلسلة العوامل الألليلية (Multiple Allelomorphs) . وقبل التحدث بالتفصيل عن فصائل الدم فى الإنسان لابد لنا من أن نتفهم ماهية العوامل الألليلية فى الحيوان والنبات . ثم نتدرج من ذلك إلى تبيان آلية تأثيرها فى إحداث فصائل الدم فى الإنسان .

سلسلة العوامل الألليلية :

تحدثنا فيما سبق عن أزواج العوامل الألليلية (Pairs of allelomorphs) مثل أزواج الصفات المتضادة الآتية : الإحمرار والبياض . والطول والتقزم واستدارة البذور وتجعدها . إلى غير ذلك . وتقع الصفتان المتضادتان فى موقع صبغى متشابه فى كل صبغين متماثلين . على أنه يوجد أحياناً فى نفس الموقع الصبغى لصبغين متماثلين أكثر من عاملين متضادين ، وتعرف العوامل المتضادة فى تلك الحالة بالألليلات المتعددة .

ففى ذبابة الفاكهة يكون اللون الطبيعى للعين هو اللون الأحمر . ولكن يحدث أحياناً أن تنتج أنواع من الذباب لها ألوان العيون الآتية : الأبيض ، الأيوسينى ، المشمشى ، الكريزى ، البرتقالى المصفر ، المرجانى ، وجميع هذه الألوان متنحية بالنسبة لصفة احمرار العين السائدة . فإذا رمزنا لصفة الإحمرار السائدة بالرمز (ح) فإن الطراز الجينى للذباب أحمر العيون — بالنسبة لأبيض العيون — إما أن يكون (ح ح) أو (ح حـ) . أما جميع الألوان الأخرى فتتمثل بعوامل وراثية متنحية . حسب الطرز الجينية الآتية :

اللون	الطرز الجينى
الأبيض	حـ حـ
الأيوسينى	حـ(ى) حـ(ى)
المشمشى	حـ(ش) حـ(ش)
الكريزى	حـ(ك) حـ(ك)
البرتقالى المصفر	حـ(ب) حـ(ب)
المرجانى	حـ(م) حـ(م)

فجميع العوامل وهى : حـ،حـ (ى) ، حـ (ش) ، حـ (ك) ، حـ (ب) ، حـ (م) ، هى عوامل متنحية بالنسبة لعامل سائد واحد هو عامل الإحمرار (ح) . والهجين الناتج عن التزاوج بين ذبابة حمراء العين وأى طراز متنحى يكون أحمر العين مثل: (حـحـ)،(حـحـ (ى)) ، (حـحـ (ش)) وهكذا دواليك. أما الهجين الناتج من التزاوج بين طرازين متنحيين فيبدى لوناً وسطاً بينهما ، فمثلا يبدو الهجين الناتج عن التزاوج بين ذباب أبيض العيون وآخر مشمشى العيون — وطرازه الوراثى (حـحـ (ش)) — ذا عيون مشمشية فاتحة اللون . وتعد هذه الحالة مثلا للعوامل الألليلية المتعددة الناتجة عن عامل وراثى سائد واحد يقابله عدد كبير من العوامل المتنحية المنتظمة فى نفس المرقع الصبغى لكل من الصبغيين المتماثلين .

وتوجد كذلك حالات أخرى من العوامل المتضادة نتيجة وجود عامل متنحى واحد تقابله عدة عوامل سائدة . فى نبات الفول يكون اصفرار الثمار والأوراق نتيجة لسيطرة عامل وراثى متنحى ولنرمز له بالرمز (خـ) ، يتضاد [illegible] أحدهما — ولنرمز له بالرمز (خ) — ينتج عنه اصفرار الثمار واخضرار الأوراق، والآخر — ولنرمز له بالرمز (خ(خ)) — يسبب اخضرار الثمار والأوراق معاً ، فالهجين (خ خـ) يكون أصفر الثمار أخضر الأوراق أما الهجين (خ (خ) خـ) فيكون أخضر الثمار والأوراق .

وتشبه العوامل الألليلية المتعددة — المسئولة عن إنتاج فصائل الدم المختلفة فى الإنسان — مثيلاتها فى نبات الفول ، من حيث وجود عامل متنحى واحد يقابله عاملان متضادان سائدان ، كما سيتضح فيما بعد .

فصائل الدم فى الإنسان :

مما هو معروف منذ زمن بعيد أن عمليات نقل الدم من شخص إلى آخر لا يمكن القيام بها بطريقة اعتباطية ، إذ يحدث أحياناً أن بعض الأشخاص المنقول إليهم الدم لايلبث أن يحيق بهم الموت بمجرد إتمام العملية ، إلا

أن سبب ذلك لم يعرف حتى عام ١٩٠٠ ، حيث اكتشف العالم لاندشتينر (Landsteiner) أن إضافة مصل دم بعض الأفراد إلى كريات الدم الحمر لأفراد آخرين قد يسبب فى بعض الأحيان تجميع هذه الكريات ، مما يعمل على إنسداد الأوعية وإيقاف الدورة الدموية ، ويسبب الموت . وقد أمكن فيما بعد بالتجارب العملية خارج الأجسام الإنسانية — وذلك بوساطة خلط دماء أفراد مختلفين ومنع الدم من التجلط قبل الاختلاط بوسائل كيميائية — التمييز بين فصائل مختلفة من الدم ، ووجد أن نوع التفاعل بين دماء فردين مختلفين يتوقف على طراز فصيلة الدم التى ينتمى إليها كل فرد . وبحسب فصائل الدم المختلفة قد يحدث تجميع لكريات الدم الحمر أو لايحدث مثل هذا التجميع ، ويعرف هذا التجميع بالتلازن .

ويعزى التلازن (Agglutination) إلى تأثير تفاعل مواد تحويها كريات الدم الحمر وتعرف بمولدات الملزنات أو الأنتيجينات (Antigens) مع موادأخرى توجد فى مصل (Serum) الدموتسمى الملزنات أو الأجسام المضادة (Antibodies) . ولما كان التركيب الكيميائى للدم يعد من الصفات المتوارثة فى الإنسان فإن نوع الانتيجينات المتكونة فى كريات الدم الحمر يخضع لسيطرة جينات الليلية متعددة . وقد وجد نوعان من الأنتيجينات فى الفصائل المختلفة من دم الإنسان ، يرمز لأحدهما بالرمز (ا) وللآخر بالرمز (ب) ، وهما يوجدان فى فصائل الدم المختلفة إما منفردين (ا أو ب) أو مجتمعين معا (اب)أو لايوجدان على وجه الإطلاق .

وبحسب نوع الأنتيجين الموجود أو غيابه ، قسم لاندشتينر فصائل الدم البشرية إلى الأقسام الأربعة الآتية :

(١) فصيلة ا (Group A) : لا تحتوى فيها كريات الدم الحمر إلا على أنتيجين (ا) .

(٢) فصيلة ب (Group B) : لاتحتوى فيها كريات الدم الحمر إلا على أنتيجين (ب) .

(٣) فصيلة ا ب (Group A B) : تحتوى فيها كريات الدم الحمر على كل من أنتيجين (ا) و أنتيجين (ب) .

(٤) فصيلة و (Group O) : لا توجد فى كريات الدم الحمر أى من هذين الأنتجينين على وجه الإطلاق .

وفى كل فصيلة من فصائل الدم سالفة الذكر ، يتوقف نوع الأجسام المضادة (أو المادة التى تتفاعل مع كريات الدم وتسبب تجميعها) الموجودة فى المصل على طراز الأنتيجين الموجود فى كريات الدم ؛ وهما يوجدان معا فى نفس فصيلة الدم بحيث لايحدث بينهما تفاعل ينتج عنه تجميع الكريات وإنسداد الأوعية الدموية . ويوجد نوعان من الأجسام المضادة هما «ا» (A-Antibodies) و « ب » (B-Antibodies) ، ويوجد أجسام مضادة (ب) فى مصل دم الفصيلة (ا) مصاحباً للأنتيجين (ا) ، كما يوجد أجسام مضادة (ا) فى مصل دم الفصيلة (ب) مصاحباً للأنتيجين (ب) . ومن ثم فليس هناك تفاعل — ينتج عنه تجميع كريات الدم — بين الأنتيجين (ب) والأجسام المضادة (أ) من جهة ، وبين الأنتيجين (ا) والأجسام المضادة (ب) من جهة أخرى ، ولكن يحدث مثل هذا التفاعل عند اجتماع كل من الأنتيجين (ا) والأجسام المضادة (ا) أو انتيجين (ب) والأجسام المضادة (ب) أما الفصيلة (ا ب) فلا يحتوى مصل الدم فيها على أجسام مضادة على وجه الأطلاق بسبب احتواء كريات الدم على الأنتيجينين (ا) و (ب) . وعلى العكس من ذلك تحتوى مصل دم الفصيلة (و) على الأجسام المضادة (ا ، ب) بسبب خلو كريات الدم فيها من أى نوع من الأنتيجينات . ويبين (جدول ٣٨) الفصائل المختلفة من الدم ، وتوزيع أنواع الأنتيجينات والأجسام المضادة بين الفصائل المختلفة .

يتبين مما سبق أنه لابد من دراسة فصائل دم الأفراد المنقول منهم وإليهم الدم قبل إجراء عمليات النقل ، حتى لايحدث تفاعل — أو تجميع لكريات الدم — مما قد يسبب حدوث مضاعفات خطيرة أو يؤدى بالشخص

(جدول ٣٨)

فصائل الدم ــ وماتحتويه كل فصيلة من انتيجين وأجسام مضادة ــ ونتائج تفاعلها مع أمصال دم فصائل (أ) أو (ب) ، ويرمز للتفاعل الناتج عنه تجميع كريات الدم الحمر بالرمز + ولعدم التجميع بالرمز (ــ) .

فصيلة الدم	الأنتيجين	الأجسام المضادة	تفاعل مع مصل : فصيلة (ا) أجسام مضادة ب	فصيلة (ب) أجسام مضادة ا
[ا]	[ا]	(ب)	(–)	(+)
[ب]	[ب]	(ا)	(+)	(–)
[ا ب]	[ا] و [ب]	(لا يوجد)	(+)	(+)
[و]	[لا يوجد]	(ا ، ب)	(–)	(–)

المنقول إليه الدم إلى الموت ، ويحدث هذا إذا نتج عن عملية نقل الدم إجتماع أنتيجين (ا) مع أجسام مضادة (ا) أو إجتماع أنتيجين (ب) مع أجسام مضادة (ب) ، فإذا مانقل دم من شخص من الفصيلة (ا) وحقن به أفراد آخرون من فصيلتى (ا) أو (ا ب) فلا تحدث مضاعفات ضارة بسبب غياب الأجسام المضادة (ا) فى جميع الحالات ، أما إذا نقل دم نفس الشخص الأول (فصيلة ا) لحقن أفراد من الفصائل (و) أو (ب) فإن الأفراد المنقول إليهم الدم قد يموتون بسبب تجميع كريات الدم الحمر فى كتل صغيرة توقف الدورة الدموية . وبالمثل يمكن نقل الدم من أشخاص من الفصيلة (ب) لحقن آخرين من الفصائل (ب) أو (ا ب) ، ولكن ليس لأفراد من الفصيلتين (و) أو (ا) . ويمكن نقل دم أشخاص من الفصيلة (و) لحقن أفراد من الفصائل (ا) أو (ب) أو (ا ب)، وذلك بسبب خلو كريات دم الفصيلة (و) خلوا تاما من أى نوع من الأنتيجينات، ومن ثم فلا تحدث تجميع للكريات بسبب الأجسام المضادة الموجودة فى هذه الفصائل الثلاث أما دم فصيلة (ا ب) فلا يمكن نقله إلا إلى أفراد من نفس نوع فصيلة الدم .

وتعزى الفصائل المختلفة للدم إلى تأثير العوامل الوراثية الألليلية المتعددة (Multiple alleles) ، على نفس المنوال الذى سبق شرحه فى حالة اخضرار

واصفرار الأوراق فى الفول ، حيث يوجد عامل متنح واحد يقابله عدة عوامل سائدة فى الموقع الصبغى للصبغيين المتماثلين . فهناك عامل وراثى متنح مسئول عن غياب الأنتيجينات فى الفصيلة (و) ولنرمز له بالرمز (جـ) يقابله عاملان سائدان ، أحدهما مسئول عن تكوين أنتيجينات (ا) ولنرمز له بالعامل الوراثى (ج (ا)) والأخر مسئول عن تكوين أنتيجينات (ب) ولنرمز له بالعامل (ج (ب))،ومن ثم فيمكن تمثيل الطرز الجينية (Genotypes) والمظهرية (Phenotypes) لفصائل الدم المختلفة كالآتى (جدول ٣٩) :

(جدول ٣٩)

الطرز المظهرية والجينية لفصائل الدم المختلفة

فصيلة الدم	الطرز الوراثية	الطرز المظهرية
(ا)	(ج (ا) ج (ا)) (ج (ا) جـ)	(ج (ا))
(ب)	(ج (ب) ج (ب)) (ج (ب) جـ)	(ج (ب))
(ا ب)	(ج (ا) ج (ب))	(ج (ا) ج (ب))
(و)	(جـ جـ)	(جـ)

ويتبين من هذا الجدول أن فصيلة الدم (ا ب) ناتجة عن وجود العاملين السائدين – المتضادين مع العامل المتنجى (جـ) – معاً فى نفس كريات الدم وهما : (ج (ا)) و (ج (ب)) .

وتستخدم تحليلات فصائل الدم فى القضايا المتصلة ببنوية مشكوك فى أبوتها ، فتحلل دماء الأب والأم والطفل لتعيين فصيلة الدم التى ينتمى إليها كل منهم ، ومن ثم فيمكن تعيين فصائل الدم المحتملة للأبناء كما هو مبين فى (جدول ٤٠) .

(جدول ٤٠)

الطرز الظاهرية والجينية لفصائل دم الأبوين ، والفصائل الناتجة عنهما في الأبناء

فصائل دم الأبوين	الطرز الوراثية لفصائل دم الأبوين	فصائل دم الأبناء
(و) × (و)	(ج^و ج^و) × (ج^و ج^و)	جميع الفصائل (و)
(و) × (ا)	(ج^و ج^و) × (ج^ا ج^ا)	،، ،، (ا)
(و) × (ا)	(ج^و ج^و) × (ج^ا ج^و)	١ (و) : ١ (ا)
(و) × (ب)	(ج^و ج^و) × (ج^ب ج^ب)	جميع الفصائل (ب)
(و) × (ب)	(ج^و ج^و) × (ج^ب ج^و)	١ (و) : ١ (ب)
(و) × (اب)	(ج^و ج^و) × (ج^ا ج^ب)	١ (ا) : ١ (ب)
(ا) × (ا)	(ج^ا ج^ا) × (ج^ا ج^ا) أو (ج^ا ج^و)	جميع الفصائل (ا)
(ا) × (ا)	(ج^ا ج^و) × (ج^ا ج^و)	٣ (ا) : ١ (و)
(ا) × (ب)	(ج^ا ج^ا) × (ج^ب ج^ب)	جميع الفصائل (اب)
(ا) × (ب)	(ج^ا ج^و) × (ج^ب ج^ب)	١ (ب) : ١ (اب)
(ا) × (ب)	(ج^ا ج^ا) × (ج^ب ج^و)	١ (ا) : ١ (اب)
(ا) × (ب)	(ج^ا ج^و) × (ج^ب ج^و)	١ (و) : ١ (ا) : ١ (ب) : ١ (اب)
(ا) × (اب)	(ج^ا ج^ا) × (ج^ا ج^ب)	١ (ا) : ١ (اب)
(ا) × (اب)	(ج^ا ج^و) × (ج^ا ج^ب)	٢ (ا) : ١ (ب) : ١ (اب)
(ب) × (ب)	(ج^ب ج^ب) × (ج^ب ج^ب) أو (ج^ب ج^و)	جميع الفصائل (ب)
(ب) × (ب)	(ج^ب ج^و) × (ج^ب ج^و)	٣ (ب) : ١ (و)
(ب) × (اب)	(ج^ب ج^ب) × (ج^ا ج^ب)	١ (ب) : ١ (اب)
(ب) × (اب)	(ج^ب ج^و) × (ج^ا ج^ب)	٢ (ب) : ١ (ا) : ١ (اب)
(اب) × (اب)	(ج^ا ج^ب) × (ج^ا ج^ب)	١ (ا) : ١ (ب) : ٢ (اب)

وفى عمليات نقل الدم فى المستشفيات تستعمل طريقة بسيطة لتعين فصيلة الدم قيد الاختبار ، ويمكن تلخيصها كما يأتى : تحفظ باستمرار أمصال دم من فصيلة (ا) وأخرى من فصيلة (ب) ، وعند فحص الدم المختبر تحضر شريحتان زجاجيتان ، توضع على إحداهما كمية قليلة من مصل دم فصيلة (ا) وتوضع على الأخرى كمية مساوية من مصل دم فصيلة (ب) ، ثم تضاف نقطة

من الدم المختبر إلى كل من المصلين . فإذا لم يحدث تجميع لخلايا الدم فى كلتا الحالتين كان الدم المختبر منتمياً إلى الفصيلة (و) ، أما إذا سبب مصل فصيلة (ب) تجميعاً لخلايا الدم ولم يستطع مصل فصيلة (ا) فإن الدم المختبر يكون من الفصيلة (ا) ، وإذا حدث العكس – أى سبب مصل (ا) تجميع خلايا الدم المختبر وعجز عن ذلك مصل (ب) – فإن الدم المختبر يكون من الفصيلة (ب) ، أما إذا سبب كل من المصلين تجميع خلايا الدم المختبر كان الأخير منتمياً للفصيلة (ا ب) . كما هو مبين فى (**شكل ٤٢٤**).

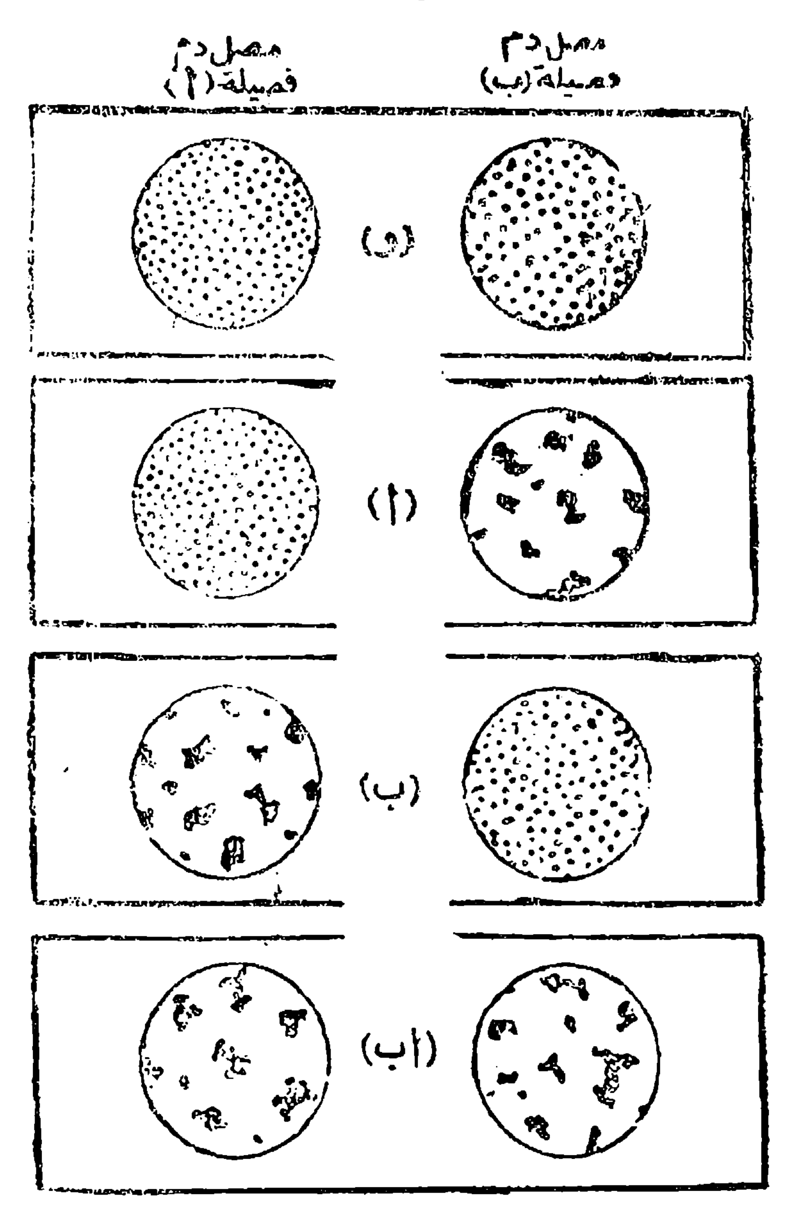
ومما يلاحظ أن فصيلة (و) يمكن نقل دم منها إلى أى شخص دون أن يسبب ذلك أى تجميع أو التصاق للكريات ، ولذلك يسمى الشخص التابع لها بالمانح العـــام (Universal donor) ، كما يلاحظ أن الفصيلة (ا ب) يمكنها أن تأخذ الدم من أية فصيلة أخرى دون أن يحدث فيها أى تلازن لكريات الدم الحمر ، ولذلك يسمى الشخص التابع لها بالمستقبل العام (Universal recipient).

وضرر التلازن أن الكريات الحمر عندما تتجمع وتلتصق ببعضها البعض تتحطم ولا تستطيع الكلى أن تفرزها ، ولذلك ينتهى الامر بالوفاة . ويعتبر نقل الدم فى العصر الحاضر من الأهمية بمكان ، ولذلك أنشئت بنوك الدم لتتولى أمره . ولا يكاد يخلو مستشفى من دماء محفوظة استعداداً لنقلها إلى أشخاص ألمت بهم حوادث فنزفت دماؤهم أو إلى مرضى بفقر الدم أو غير ذلك . وفصيلة الدم صفة متوارثة ، أى يرثها الفرد عن أبويه .

تحت فصائل من مجموعة « أ ب » :

أظهرت الابحاث الحديثة أن كلا من فصيلتى الدم (ا) و (ا ب) تحتوى على تحت مجموعتين (Sub-groups) أو أكثر ، إذ دلت بعض النتائج على أن دم بعض الافراد المنتمين للفصيلة (ا) إذا أضيف إلى مصل دم فصيلة (ب) عجز المصل الاخير على تجميع خلاياه ، بينما يستطيع نفس المصل تجميع خلايا دم أفراد آخرين من الفصيلة (ا) ، مما يدل على أن هناك نوعين من الأنتيجينات (ا) : يرمز لاحدهما بالرمز ($ا_1$) وللآخر بالرمز ($ا_2$) ، كما

(شكل ٤٢٤)



طريقة تعيين الفصيلة التي ينتمي إليها دم مجهول الفصيلة ، حيث توضع نقطتان من مصل دم (ا) على شريحة زجاجية ونقطتان من مصل دم (ب) على شريحة أخرى ، ثم يضاف إلى كل منهما الميل من الدم المختبر ، وعلى حسب تجميع كريات الدم الحمر في احد المصلين أو كليهما أو عدم تجميعها على وجه الاطلاق يمكن تعيين فصيلة الدم المختبر وفقا لما هو مبين بالشكل (عن شول) .

يرمز للعوامل الوراثية المسئولة عن تكوينها بالرمزين (ج (ا$_{١}$) و (ج (ا$_{٢}$) . وتوجد بالمثل تحت مجموعتين من الفصيلة (ا ب) يرمز لها بالرمزين (ا$_{١}$ب) و (ا$_{٢}$ب) . وللعوامل الوراثية المسئولة عن تكوين الأنتيجينات فيهما بالرمزين : (ج (ا$_{١}$) ج (ب)) و (ج ا^{٢} ج (ب)) .

فصائل دم أخرى :

اكتشف العالمـــان لاندشتينر وليفين (Landsteiner & Levine) أنتيجينين آخرين فى خلايا الدم الحمر – بجانب (ا) و (ب) – أطلق عليهما الرمزان «م» (M) و «ن» (N) . ولا يعدان طبيا فى مثل أهمية (ا) و (ب) بسبب خلو مصل دم الإنسان بوجه عام من أية مواد – أو أجسام مضادة – تعمل على تجميع خلايا الدم المحتوية عليهما . ومن ثم فلم يكتشفا إلا عند حقن دم الإنسان فى أوردة بعض الحيوانات – كالأرانب مثلا – حيث يكون فى مصل دمها مواد مضادة استجابة لوجودهما ، ثم التأكد من ذلك بتعريض المصل المضاد لبعض الاختبارات ، وبمثل هذه الطريقة أمكن استكشاف ما إذا كان دم الإنسان المختبر يحتوى على الأنتيجينين (م) و (ن) ؛ أحدهما أو كليهما . وقد دلت نتائج هذه الاختبارات على أن أفراد بنى الانسان يمكن تقسيمهم إلى ثلاث مجموعات بالنسبة للأنتيجينين (م) و (ن) :

(أ) أفراد الفصيلة (م) ، حيث يكون الفرد متشابه التركيب الوراثى بالنسبة للعامل الوراثى المسبب لتكوين أنتيجين (م) .

(ب) أفراد الفصيلة (ن) ، حيث يكون الفرد متشابه التركيب الوراثى بالنسبة للعامل الوراثى المسبب لتكوين أنتيجين (ن) .

(جـ) أفراد الفصيلة (م ن) ، حيث يكون الفرد متباين التركيب الوراثى بالنسبة للعوامل الوراثية المسببة لتكوين الأنتيجينين (م) و (ن) .

ولا يرتبط توزيع الأنتيجينين (م) و (ن) بأى حال من الأحوال بتوزيع فصائل الدم الأربع من مجموعة (ا ب) .

والعاملان الوراثيان المسببان لتكوين الأنتيجينين (م) و (ن) يعدان عاملين متضادين ، حيث لا توجد عوامل الليلية متعددة كما هو الحال فى مجموعة الدم (ا ب)، بسبب عدم وجود فصيلة دم رابعة — تماثل فصيلة (و) فى مجموعة (ا ب) - وتكون خالية خلواً تاما من الأنتيجينين (م) و (ن).

العامل الريزيسى (Rhesus or Rh factor) :

لاتقتصر فصائل الدم على المجموعتين (ا ب) و (م ن) - اللتين سبق وصفهما بالتفصيل - بل توجد مجموعة أخرى اكتشفت مصادفة، وذلك عندما وجد كثير من العلماء أن دم القرد الريزيسى (Rhesus monkey) يحتوى على أنتيجين يستحث مصل دم الارنب لتكون أجسام مضادة له عند حقن دم هذا النوع من القرود فى الأرانب ، وعندما فصل هذا المصل المتضاد من الأرانب المحقونة وخلط مع دم الانسان تجمعت كرات الدم الحمر للإنسان فى حوالى ٨٧٪ من الحالات ، مما يدل على احتواء دم الانسان على نفس الأنتيجين الموجود فى هذا النوع من القرود ، ومن ثم سمى العامل الوراثى المسئول عن تكوين هذا الأنتيجين فى الانسان بالعامل الريزيسى ، لوجوده فى القرد الريزيسى والانسان على السواء . ويعرف الأشخاص الذين يكون فيهم العامل الريزيسى سائداً - لتكوين الأنتيجين - بموجبى العامل الريزيسى (Rh - positive) ، أما الذين يفتقرون اليه - ومن ثم يتميز دمهم بغياب الأنتيجين - فيعرفون بسالبى العامل الريزيسى (Rh-negative) ، ويكون هذا العامل عندهم متنحيا ، ويتمثل هذا العامل الوراثى بصفات متضادة متعددة - تبلغ الثمانية - مما يزيد كثيراً فى عدد فصائل الدم فى الإنسان .

وقد دلت الدراسات على التوائم وحيدة اللاقحة على وراثة هذا العامل ، إذ قام العالمان ستراندسكوف وديدريش (Strandskov & Diederich) بفحص حالة ٥٣ زوجا توأميا وحيد اللاقحة ، فوجدا أن كل زوج توأمى يتشابه تماماً من حيث وجود هذا العامل أو غيابه ، فمنهم ٤٥ زوجا توأما موجبى العامل الريريسى وثمانية أزواج سالبى العامل الريزيسى .

ودلت الدراسات الوراثية فى عدة عائلات على أن وجود الأنتيجين الريزيسى مرتبط بعامل سائد معين يرمز له بالحرف (ر) ، وأن غياب هذا الأنتيجين ناتج عن عامل مضاد ومتنحى (ر) . واكتشف مرض يصيب جنين الإنسان ويسبب موته - يعرف بمرض انحلال كرات الدم الحمر للجنين (Erythroblastosis foetalis) - فى حالات خاصة من الزيجات يكون فيها الأب موجب العامل الريزيسى متشابه اللاقحة له والأم سالبة بالنسبة اليه ، أى أن دم الأم لا يحتوى على الأنتيجين الريزيسى ، بينما يحتوى دم الأب على هذا الأنتيجين ، ومن ثم يكون الطراز الجينى لكل جنين ناتج عن تزاوجهما هو «ر ر» (Rr) ، ولذلك يحتوى دم جميع الأجنة على الأنتيجين الريزيسى . ويتسبب المرض عن تسرب دم الجنين المحتوى على الأنتيجين خلال المشيمة إلى دم الأم ذى العامل الريزيسى السالب ، ويستحث هذا الأنتيجين دم الأم لتكوين أجسام مضادة له ، ويتسرب هذا بدوره خلال المشيمة إلى دم الجنين ، ويعمل على تجميع كرات الدم الحمر مما يسبب موت الجنين .

ولا يعنى الاختلاف بين الأب والأم - من حيث إيجابية دم الأب وسالبية دم الأم للعامل الريزيسى - دوام حدوث مرض انحلال الدم فى الجنين ، بل كثيراً ما يسلم أول الأطفال المولودين من هذا المرض الخطير ، حيث يعجز أنتيجين الجنين عن استحداث كمية كافية من الأجسام المضادة فى دم الأم يعمل بدوره على تجميع دم الجنين . إلا أنه يعمل على زيادة حساسية دم الأم بالتدريج لهذا الأنتيجين - والاستجابة له بتكوين الأجسام المضادة - بحيث تكون أجنة الأطفال الذين يأتون من بعده أكثر احتمالا للإصابة بهذا المرض المميت . غير أن هذه الظاهرة قد أمكن السيطرة عليها طبياً بإعطاء الأم أدوية معينة لمقاومة تكوين الأجسام المضادة .

الباب السابع والأربعون

الهندسة الوراثية

(Genetic Engineering)

تقدمت العلوم الوراثية تقدماً كبيراً بعد ما كشفته الوراثة الجزيئية من طبيعة المادة الوراثية ووظيفتها ، وخطوات تصنيع البروتين فى الخلية وفى المعمل . وقد أدت هذه المعلومات الوراثية إلى تكنولوجيات جديدة تضع حلولا لمشاكل قائمة مثل العقم والأمراض وإنتاج الغذاء والتخلص من القمامة وتحسين نوع الكائنات الحية . ويطلق على هذه التكنولوجيات « الهندسة الوراثية » وتتضمن اتحادات جديدة لجزيئات المادة الوراثية DNA وذلك باستخدام تقنيات بيوكيميائية ووراثية تؤدى إلى تغيير المادة الأساسية للخلية . فبوسائل الهندسة الوراثية يمكن فصل أجزاء من جزئ الـ DNA وإعادة ترتيبها ونقلها من خلية إلى أخرى ، ومن ثم يمكن إحداث تغيرات فى المجموع الوراثى ليس من المحتمل أن تتم من خلال العمليات العادية .

والهندسة الوراثية لا زالت فى مرحلة التجربة ، إلا أنها تقدم فوائد محتملة عظيمة . فعلى سبيل المثال أدت مزارع بكتيرية بعد تكوين اتحادات معينة فى جزئيات الـ DNA إلى إنتاج إنسيولين بشرى ، وإلى تكوين مادة مضادة للفيروسات أطلق عليها إنترفيرون (Interferon) . وفى مجال الزراعة اختبرت اتحادات جديدة لجزئيات DNA الخاصة بنبات الذرة قصد منها زيادة إمكانية مقاومة النبات للجفاف وللمرض .

وسنتناول بالشرح فيما يلى بعض تجارب وتقنيات الهندسة الوراثية وتطبيقاتها المحتملة والرأى العام فيها :

إنتقال البلازميدات فى البكتيريا (Plasmid Transfers In Bacteria) :

إن معظم البحوث التى تتضمن نقل أجزاء من DNA أو الجينات قد

أجريت على البكتيريا . فنى البكتيريا توجد المعلومات الوراثية فى جزئ واحد كبير من الـ DNA يمثل كروموسوم الخلية البكتيرية. وحيث أن البكتيريا تتكاثر لا جنسياً ، فإن المعلومات الوراثية تبقى دون تغيير لعدة أجيال . وتوجد فى البكتيريا أجزاء حلقية من الحمض النووى DNA منفصلة عن الكروموسوم الرئيسى ويطلق عليها بلازميدات (Plasmids) تحمل غالباً جينات تكسب البكتيرة مناعة ضد المضادات الحيوية .

ويمكن لهذه البلازميدات أن تنتقل من خلية إلى أخرى ، فعلى سبيل المثال تعـــد الإيشريشيا كولاى (Ischerichia coli) بكتيرة غير ضـــارة توجد بصفة عامة فى القناة الهضمية للإنسان . وتحتوى بعض هذه البكتيريا على بلازميدات عليها جينات تقاوم المضاد الحيوى تتراسيكلين ، بمعنى أن المواد الشفرية للجينات هى التى تتداخل بيوكيميائياً مع فعل التتراسيكلين . هذه البلازميدات ، التى يطلق عليها عوامل مقاومة ، يمكن أن تنفصل بسهولة من DNA الكروموسوم الرئيسى . أما خلايا إ . كولاى غير المقاومة للتتراسيكلين — أى التى تهلك فى وجوده — فيمكنها أن تستقبل بلازميدات العوامل المقاومة بمعاملتها كيميائياً لتصبح منفذة لبلازميدات من خلايا أخرى . وهذه الخلايا التى اكتسبت بلازميدات العوامل المقاومة تعيش على وسط غذائى يحتوى التتراسيكلين على حين تموت الخلايا غير المقاومة . وتنقسم كل خلية مقاومة لعدة أجيال مكونة مجموعة من الخلايا يطلق عليها اسم فسيلة (Clone) وخلاياها تشبه الخلية الأصلية التى تكونت منها لاجنسياً . ويتكاثر جزئ البلازميدة فى كل خلية ، ومن ثم يمثل الظاهرة التى يطلق عليها أحياناً اسم الاستزراع الجزيئى (Molecular cloning) .

إتصال البلازميدات (Joining Plasmids) :

ويمكن للبلازميدات أن تنفصل إلى قطع صغيرة من الـ DNA ، ثم تتحد القطع مع بعضها البعض وتدخل الخلايا . وقد يكون الاتحاد بين أجزاء تكون DNA من نفس النوع أو من نوع مختلف تماماً .

وحيث أن DNA البلازميدة عبارة عن جزئ حلقى مغلق فإنه يجب أولا أن يفتح بطريقة ما تسمح للنهايات الممزقة أن تتفاعل كيميائياً حتى يتم الاتصال بينها . وقد يتم القص بطريقة ميكانيكية أو بفعل إنزيمات مختلفة تعرف بالنيوكليزات (Nucleases) . أما أجزاء الـ DNA فيتم اتصالها بواسطة إنزيمات بناء من شأنها إصلاح أجزاء الـ DNA وربط نهاياتها المفككة فى خيط واحد (شكل ٤٢٥) . وبهذه الطريقة يمكن لبلازميدات من سلالة بكتيرة

(شكل ٤٢٥)



خطوات فى تقنيات الهندسة الوراثية تتضمن ادخال جزء من DNA (دنا) غريب فى بلازميدة أو فيروس ثم ما يتبع ذلك من تكاثرها فى عائل مناسب بالانقسام الخلوى (عن كامبل وسميث ١٩٨٤)

إ . كولاى المقاومة للتتراسيكلين أن تتصل ببلازميدات من سلالة تقاوم مضاد حيوى آخر مثل الكانوميسين (Kanomycin) ومن ثم تنتج سلالة من إ . كولاى تقاوم كلا من المضادين الحيويين .

والبلازميدات المأخوذة من نوع مختلف من البكتيريا مثل الستافيلوكوكس أورياس (Staphylococcus aureus) لا يمكن بحالتها أن تتكاثر فى إ . كولاى. أما البلازميدات الهجينة الناتجة عن اتحاد جزء من بلازميدة الستافيلوكوكس مع جزء من بلازميدة إ . كولاى فيمكن أن تزدهر فى بكتيريا الكولاى . وقد أجريت تجارب اتحدت فيها بلازميدات من الستافيلوكوكس المقاومة للبنسلين مع بلازميدات من الكولاى المقاومة للتتراسيكلين ، ثم أدخلت البلازميدات الهجينة فى خلايا الكولاى فنتجت سلالة منها مقاومة لكل من البنسلين والتتراسيكلين . هذه التجربة التى تتضمن انتقال معلومات وراثية بين كائنات مختلفة يمكن أن تؤدى إلى إمكان إدخال جزيئات من DNA من كائنات معقدة راقية وتكاثرها واستنساخها فى عوائل بكتيرية .

انتقال الجينات الحيوانية (Transferring Animal Genes) :

أول الجينات الحيوانية التى نقلت إلى البكتيريا كانت من ضفدع (Xenopus laevis) ، وقد درست هذه الجينات بعناية بحيث يمكن التعرف عليها . وعند اتحادها ببلازميدات من بكتيرة إ . كولاى المقاومة للتتراسيكلين وتكاثرها فيها فإن مجموعة الخلايا الناتجة احتوت على الـ DNA الخاص بالضفدع والبكتيريا ، وهذا الـ DNA الهجين يمكن تكاثره لمئات الأجيال .

ولكى يكون للجينات تأثير على صفات كائن ما فإنها لا بد أولا أن تستنسخ إلى الحمض النووى الريبوزى RNA الذى يترجم عندئذ إلى بروتينات بها هرمونات . وفى التجارب التى سبق شرحها لم تترجم جينات الحيوان إلى بروتينات . غير أن الجينات يمكن الآن تكوينها وإدخالها فى البكتيريا لإنتاج بروتينات الإنسيولين والإنترفيرون وهرمون النمو البشرى وهرمونات المخ

سوماستاتين (Samostatin) وبيتا — انـــدورفين (Beta - endorfin)
ويمكن للمزارع البكتيرية أن تنتج كميات كبيرة من الهرمونات والأجسام المضادة التي تستخدم في علاج الإنسان والحيوان . كما يمكن أيضاً باستخدام الجينات المؤلفة تكوين بروتين محور أو جديد . وبالإضافة إلى ذلك يمكن بهذا النوع من المعالجة البارعة للجينات تكوين خلايا بكتيرية لها نفس فائدة البنيسليام الذي يستخدم في تصنيع المضاد الحيوي « البنيسلين » .

التطبيقات المحتملة (Potential Applications) :

الإنترفيرون بروتين يتكون طبيعياً لمحاربة الإصابة الفيروسية ويدرس الآن كعلاج ممكن للسرطان . وهو يتكون بكميات ضئيلة في جسم الإنسان ، أما باستخدام طرق الاتحادات الجديدة لجزئ الـ DNA مع قطع الـ DNA البكتيري أمكن تكوين كميات كبيرة نسبياً من الإنترفيرون في المزارع البكتيرية. وبالمثل فإن هرمون النمو البشري الذي يعتبر علاجاً لمرض الطفولة المعروف بالتقزم النخامي يمكن أن يتكون في البكتيريا بكميات كبيرة تفوق ما يتكون منه في الطبيعة . وقد يصبح الإنسيولين البكتيري عظيم الأهمية في معالجة مرض السكر . وفي استخدام آخر لأسلوب الاتحادات الجديدة لجزيئات الـ DNA أمكن باستخدام البكتيريا المهندسة وراثياً التخلص من فضلات السمن من الزيوت المنسكبة على مياه البحار والمحيطات .

وفي مجال الزراعة تجرى محاولات لنقل جينات البكتيريا المثبتة للنيتروجين التي تحول النيتروجين الجوي إلى مركبات نيتروجينية صالحة للاستعمال إلى بكتيريا أخرى ، وبذلك يتوقع أن تنتفي الحاجة ذات يوم إلى المخصبات النيتروجينية التي تستخرج حالياً من البترول بتكاليف باهظة .

أما استخدام خلايا حيوانية كعوائل لاتحادات الـ DNA الجديدة فإن هدفها الأساسي هو شفاء الأمراض ذات الأصل الوراثي في الإنسان . ويمكن للوصول إلى مثل هذا الهدف أن تزال بعض الخلايا المسببة لمرض ما في

الإنسان ثم نقل جينات عادية لتحل محل قطع الـ DNA الضارة فى هذه الخلايا ثم العمل على إعادة هذه الخلايا المهندسة وراثيا إلى المريض ثانية حيث يؤدى ذلك إلى تكوين البروتينات التى يتطلبها شفاء المريض . ومن الواضح أن استعمال الهندسة الوراثية فى الخلايا الحيوانية بهذا الأسلوب لا يؤدى إلى تغيير فى المحتوى الوراثى ، لأن ذلك يتطلب نقل الجينات إلى خلايا الفرد الجنسية التى تنتج بدورها أمشاجاً تحتوى على التركيب الوراثى الجديد عندما تنتقل إلى النسل الذى ستشترك فيه .

وقد يتم تصحيح آثار الجينات المتسببة فى المرض الوراثى عن طريق إمداد الأشخاص المرضى بالمادة الضرورية التى لا يستطيعون تكوينها . ولنأخذ مثلا على ذلك مرضى السكر الذى يرجع إلى فشل فى تكوين الإنسيولين . ويتكون الإنسيولين فى خلايا معينة فى البنكرياس من إنسيولين أولى يصنع تحت سيطرة سسترون يحتوى على ١٥٣ نيوكليوتيدة . ولما كانت خلايا الفرد تحمل كل المعلومات الوراثية كان معنى ذلك أن سسترون الإنسيولين الأولى مكبوت كبتاً دائماً فى الخلايا التى لا تكونه . وبالتالى يكون العلاج الوراثى هو إزالة كبت الجين حتى يستطيع أن يؤدى عمله . وتتقدم بالفعل حالياً معلوماتنا عن كبت الجينات فى الكائنات الراقية .

ويتجه رأى العلماء فى محاولة للتحسين الوراثى إلى اختيار تراكيب وراثية معينة والسماح لها بالتناسل دون غيرها . وقد نادى مولر عام ١٩٦٥ بإنشاء بنوك تقوم بتخزين أمشاج أفضل الرجال والنساء واستخدامها عند الحاجة . وتجرى الآن بالفعل عمليات إخصاب صناعى فى الإنسان ما زالت محدودة ولا زال الغرض منها مجرد الإنجاب – فى العائلات التى لا تستطيع ذلك بالطريق الطبيعى – دون الاهتمام بالتراكيب الوراثية للأب والأم .

وطرق الإخصاب الصناعى مختلفة ، وهى تفتح آفاقاً جديدة تماماً ، فقد أمكن منذ سنوات زراعة بيض منتخب مخصب أو غير مخصب فى الإنسان ، كما نجح إدواردز (Edwards) وزملاؤه عام ١٩٧٠ فى إخصاب بيض

إنسانى فى أنابيب اختبار وتوجت أبحاثهم بمولد أول طفل أنابيب عام ١٩٧٨ ، ويمكن بعد الإخصاب زرع اللاقحة فى رحم الأم أو أى سيدة أخرى تعمل كحاضنة للجنين أو فى رحم صناعى .

ومن الطرق الأخرى لانتخاب تراكيب وراثية معينة طريقة التكاثر اللاجنسى التى تؤدى إلى تكوين فسائل بشرية (Clones) خلاياها كلها ناتجة عن خلية واحدة وكلها متماثلة تماماً فى التركيب الوراثى . ويمكن أن يتحقق هذا بزراعة خلايا جسدية فى مزارع أنسجة ثم حثها على التشكل ، أو بإزالة نواة البيضة وإدخال نواة جسدية مكانها ثم زرع البيضة فى رحم أنثى أو فى رحم صناعى . وبطبيعة الحال تؤخذ النواة الجسدية من الشخص المراد تصنيع نسخ منه ، ويعتقد العلماء أن هذا سيصبح ممكناً قبل نهاية هذا القرن .

كذلك أوضحت البحوث الحديثة إمكانية زرع DNA فيروسى فى خلايا بشرية ، وأن DNA هذا الفيروس يمكن أن يصبح جزءاً دائماً من المادة الوراثية للخلية ، وقد يمكن بمثل هذه الطريقة إدخال معلومات معينة فى الخلايا البشرية .

هناك ، إذن ، احتمال نجاح تصنيع جينات تحمل معلومات لأى صفة تقريباً ثم تعبئتها داخل أغلفة بروتينية وإدخالها فى الخلايا على أمل أنها تستطيع التعبير عن نفسها فيها بالطريقة العادية لتصنيع البروتين . وقد يأتى بعد ذلك الوقت الذى يصنع فيه كل الـ DNA وبالتالى تصنيع مخلوقات بصفات يسبق تحديدها . فهناك مثلا من يرى كحل لمشكلة الغذاء أن تستخدم طرق الهندسة الوراثية ، إذا هى نجحت ، فى دمج جين يحمل معلومات لهضم السليلوز فى التركيب الوراثى للإنسان . كما قد يصبح من الممكن أيضاً التحكم فى الجينات المنظمة بحيث تجعلها تبدأ أو توقف التصنيع حسب الحاجة .

لكن إلى أين ؟ قدرات مذهلة ومخيفة لدرجة أن بعض البلدان الأوروبية وأمريكا تراقب بعناية شديدة أبحاث هندسة الوراثة وتضع قيوداً عليها ، فلا أحد يدرى ما قد تؤدى إليه هذه البحوث وخاصة فيما يتصل بالتحكم الوراثى للانسان حيث يثار الكثير من نقاط أخلاقية وقانونية ودينية .

دليل

(ز)

متشابه الثالوس ٤٧٠ Homothallic
متضاعفة الصبغيات ١١٠٩ Polyploids
متعددة الأشكال ٣٥٤ Pleomorphic
الجينات ١١١٧ polygenic
الخلايا ١١١ multicellular
الصفوف (فى أكثر من صف)
multiseriate ٤٨٤
الغرف ٦٠٠ plurilocular
متعضيات Organisms
البليرونيمونيا ١١٤
pleuropneumonia
شبيهة البليرونيمونيا ١١٤
pleuropneumonia-like
لولبية ٣٠٧ spiral
متطفلة ٣١٤ ، ٣٢٣
Parasitic, parasites
إجباريا ٣٢٣ obligate
اختياريا ٣٢٣ facultative
متكافل – متكافلة ٣١٤،٣١٧،٣٢٤
Symbiont
متماثلة ١٤١ Homologous
التركيب الوراثى ١٠٤٠ ، ١٠٤٢
homozygous
مثانات ١٠٥ Bladders
مثانى صبغية متماثلة ١٠٦٤ Bivalents
مثيونين ٣٩٧ Methionine
مجاميع ريبوسومية ١٣٥ Polyribosomes
نسيجية tissue systems
مجموع System
الأنسجة الأساسية ١٧٥
ground, or fundamental, tissue systems
الأنسجة الجلدية أو الضامة ١٨٦
dermal, or boundary, tissue systems
الأنسجة الوعائية أو التوصيلية ١٩٢
vascular, or conducting tissue systems
جذرى ١٥ root system
خضرى ١٧ shoot system
مجموعتان صبغيتان ٩٠٤
two-pigment systems
مجموعة فعالة ٨٢٤
Active, or prosthetic group
مجهر دقيق ٧٢٩ Ultramicroscope
محضن ٣٩٤ Incubator
محطات توليد القوى ١٣٠ Power houses
محلول ٧٢٣ Solution
تيرود ٣٩٣ Tyrode's
حقيقى ٧٢٣ true
شيف ٩٥٣ Shive's
غروى ٧٢٤ colloidal
فهلنج ٩٢١ Fehling's
متوازن ٧٧٨ balanced
هوجلاند ٩٥٣ Hoagland
هوجلاند(٢) ٩٥٣ Hoagland 2
محور قصير مفصلى ٦٤٦ Rachilla
محورى ٦٠١ Axial
محيطية الأسواط ٣٠٣ Peritrichous
المتاعية ٦٠٣ Perigynous
مخاريط ٥٨١ Cones, strobili
أنثوية ٥٨١
female or ovulate
ذكرية ٥٨١ male or staminate
مخاط ٢٩٧ Mucilage
مخروطيات ٩٥ Conifers
مخروطى الشكل ٤٧ Conical
مدق ٦٠٠ Pistil

(هـ)

تصويب

الصفحة	السطر	الخطأ	الصواب
١١	الأخير	Triticu	Triticum
٢٣	١٧	*vicia fapa*	*Vicia faba*
٢٦	٨	(Hypog al)	(Hypogeal)
٥٩	١٣	ملمساء	ملساء
٦٧	١٢	Subterraneanstems	Subterranean stens
١٥٥		ستريكتين	ستريكنين
١٩٠	٣	Haisor Trichomes	Hairs or Trichomes
٢٢٤	٢	Endogenous	Exogenous
٢٨٥	٥	فوق ينجلى	فون ينجلى
٢٩٩	الأخير	*subtiilis*	Subtilis
٣٠٨	٢٠	Plasmolemma	Plasmalemma
٣١٩	٢	*tAzotobacter*)	(*Azotobacter*)
٣٧٢	٩	Polypho-sphates	Polyphos phater
٣٩٧	٨	Hisidine	Histidine
٤٢١	١٦	Chlorophvll	Chlorophyll
٤٢٤	٤	?*Euglena*)	(*Euglena*)
٤٤١	٨	Fronte	Front
٥٩٧	١١	Syngeneslous	Syngenesious
٦٥٨	٥	*tSalix alba*)	(*Salix alba*)
٦٦٠	٦	*Ficeas secamorus*	*Ficus sycamorus*
٦٧٥	٦	*Caesia acutifolia*	*Cassia acutifolia*
٦٨٢	٩	*Altha roseea*	*Althaea rosea*
٦٨٦	١٢	*Encalyptus*	*Eucalyptus*
٦٨٩	١١	لشمر	الشمر
٦٩٣	١٣	*tVince rosea*)	(Vinca rosea)
٦٩٦	٢٢	*Ipmoea pea-carpae*	*Ipmoea pes-carpae*
٨٣٨	١٩	استربزات	إستريزات
٨٤٨	١٧	دوراق ديوار	دوارق ديوار
٩٢٥	المعادلة	Fructofuranoce	Fructofuranose
١٠٠٠	١٥	Anxins	Auxins
١٠١	٢٠١	jensen	Jensen
٦٠٥	٨		الباب السادس والعشرون النورة
٦٢٧	البداية		الباب السابع والعشرون الثمار
١٠٢٦	١٧	الإضاءت	الاضاءه
١٠٨٧	٢٠	*pursa-*	*bursa-*